



**UFES**

**Análise do efeito do escoramento de um pavimento superior sobre os inferiores, para lajes em concreto armado moldado "in loco"**

**Maria Aparecida Costa de Sousa Vivacqua**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

**Orientador:**

**Prof. Dr. Luiz Herkenhoff Coelho**

**Vitória, Dezembro de 2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Maria Aparecida Costa de Sousa Vivacqua**

**Análise do efeito do escoramento de um pavimento superior sobre os inferiores, para lajes em concreto armado moldado "in loco"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Aprovada em 22/12/2009 por:

---

**Prof. Dr. Luiz Herkenhoff Coelho, UFES (Orientador)**

---

**Prof. Dr. Walnório Graça Ferreira, UFES (Examinador Interno)**

---

**Dr. Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi (Examinador Externo)**

*Dedico este trabalho ao meu querido pai  
Pedro Vieira de Sousa, que tanto me  
incentivou a concluir este estudo e foi o meu  
maior exemplo de perseverança e força.*

## AGRADECIMENTOS

---

Ao Prof. Dr. Luiz Herkenhoff Coelho pela sua orientação sempre paciente, segura e objetiva.

Ao amigo Engenheiro Civil Warley Soares Santos pela importante ajuda na etapa computacional.

Ao aluno de graduação em Engenharia Civil Felipe Marchesi pelo apoio durante a etapa de processamento dos dados.

Ao PPGEC pela oportunidade, aos colegas de curso e a todos os demais professores e funcionários do Mestrado.

A SH Fôrmas, através da Engenheira Civil Irene Oliveira, pelo fornecimento de dados que auxiliaram na realização deste estudo.

A minha mãe Marilene Costa de Sousa e a minha irmã Giusilene Costa de Souza Pinho por todo incentivo e apoio.

Ao meu marido Gabriel Peixoto Derenzi Vivacqua por todo carinho, incentivo, compreensão e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Deus, sem o qual nada seria possível.

*“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível”.*

(São Francisco de Assis)

# SUMÁRIO

---

|  |               |
|--|---------------|
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                             | <b>VIII</b>   |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                             | <b>XI</b>     |
| <b>RESUMO.....</b>                                       | <b>XIV</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                    | <b>XV</b>     |
| <br><b>Capítulo 1: INTRODUÇÃO .....</b>                  | <br><b>01</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA.....                                   | 02            |
| 1.2 OBJETIVO .....                                       | 03            |
| 1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO .....            | 04            |
| <br><b>Capítulo 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>        | <br><b>06</b> |
| 2.1 INTRODUÇÃO.....                                      | 07            |
| 2.2 FÔRMAS E ESCORAMENTOS .....                          | 10            |
| 2.3 DEFORMAÇÕES .....                                    | 13            |
| 2.4 AÇÕES DE CONSTRUÇÃO .....                            | 15            |
| 2.5 CONSTRUÇÃO EVOLUTIVA.....                            | 17            |
| 2.6 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....                    | 18            |
| <br><b>Capítulo 3: MODELO ESTRUTURAL DE CÁLCULO.....</b> | <br><b>19</b> |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....                                      | 20            |
| 3.2 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS.....                         | 25            |
| 3.2.1 Concreto .....                                     | 25            |
| 3.2.2 Aço dos elementos estruturais de concreto.....     | 26            |
| 3.2.3 Aço das escoras .....                              | 26            |
| 3.2.4 Madeira e Compensado .....                         | 26            |
| 3.3 DIMENSÃO DAS PEÇAS ESTRUTURAIS .....                 | 27            |
| 3.4 ARMADURAS .....                                      | 28            |
| 3.5 DISCRETIZAÇÃO DAS LAJES.....                         | 28            |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.6 CONSIDERAÇÕES DE CARGAS .....                              | 30        |
| <b>Capítulo 4: APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b> | <b>31</b> |
| 4.1 APLICAÇÃO DO MODELO .....                                  | 32        |
| 4.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....                | 33        |
| 4.2.1 Laje 6x6 com ciclo construtivo de 10 e 21 dias .....     | 33        |
| 4.2.2 Laje 5x5 com ciclo construtivo de 10 dias .....          | 35        |
| 4.2.3 Laje 4x4 com ciclo construtivo de 10 dias .....          | 37        |
| 4.2.4 Laje 4x6 com ciclo construtivo de 10 dias .....          | 38        |
| 4.2.5 Resumo Comparativo .....                                 | 40        |
| 4.2.6 Tabelas e Gráficos .....                                 | 41        |
| <b>Capítulo 5: CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>     | <b>56</b> |
| 5.1 CONCLUSÕES .....   | 57        |
| 5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS .....                                 | 58        |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                       | <b>60</b> |
| <b>Anexo A: TABELAS DE ENTRADA DE DADOS .....</b>              | <b>64</b> |
| <b>Anexo B: TABELAS DE SAÍDA DE DADOS .....</b>                | <b>75</b> |



## LISTA DE TABELAS

---

### CAPÍTULO 2

|                    |  |           |
|--------------------|--|-----------|
| <b>TABELA 2.1:</b> | Valores Básicos para materiais [Fonte: Manual SH de fôrmas para concreto e escoramentos metálicos] .....                                     | <b>11</b> |
| <b>TABELA 2.2:</b> | Valores médios das propriedades de rigidez e resistência de algumas madeiras [Fonte: NBR 7190/1997 – Projeto de estruturas de madeira] ..... | <b>13</b> |

### CAPÍTULO 3

|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| <b>TABELA 3.1:</b> | Parâmetros de comparação .....                | <b>25</b> |
| <b>TABELA 3.2:</b> | Propriedades do concreto.....                 | <b>25</b> |
| <b>TABELA 3.3:</b> | Armaduras .....                               | <b>28</b> |
| <b>TABELA 3.4:</b> | Comparações das malhas de discretização ..... | <b>29</b> |

### CAPÍTULO 4

|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| <b>TABELA 4.1:</b> | Passos de análise – Modelo padrão de análise .....  | <b>32</b> |
| <b>TABELA 4.2:</b> | Modelo alternativo de análise para lajes 4x6 metros e 5x5 metros .....                        | <b>33</b> |
| <b>TABELA 4.3:</b> | Níveis de escoramento para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias ..... | <b>34</b> |
| <b>TABELA 4.4:</b> | Níveis de escoramento para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias ..... | <b>36</b> |

|                       |  |           |
|-----------------------|--|-----------|
| <b>TABELA 4.5:</b>    | Níveis de escoramento para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....  | <b>38</b> |
| <b>TABELA 4.6:</b>    | Níveis de escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....  | <b>40</b> |
| <b>TABELA 4.7:</b>    | Níveis de escoramento para os modelos analisados .....   | <b>40</b> |
| <b>TABELA 4.8:</b>    | Deslocamentos centrais - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....   | <b>42</b> |
| <b>TABELA 4.9:</b>    | Momentos máximos atuantes - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....  | <b>43</b> |
| <b>TABELA 4.10:</b>   | Deslocamentos centrais - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias .....   | <b>44</b> |
| <b>TABELA 4.11:</b>   | Momentos máximos atuantes - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias .....  | <b>45</b> |
| <b>TABELA 4.12 a:</b> | Deslocamentos centrais - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente ....     | <b>46</b> |
| <b>TABELA 4.12 b:</b> | Deslocamentos centrais - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente ....     | <b>47</b> |
| <b>TABELA 4.13 a:</b> | Momentos máximos atuantes - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente ..... | <b>48</b> |
| <b>TABELA 4.13 b:</b> | Momentos máximos atuantes - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente ..... | <b>49</b> |
| <b>TABELA 4.14:</b>   | Deslocamentos centrais - Lajes com 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....   | <b>50</b> |
| <b>TABELA 4.15:</b>   | Momentos máximos atuantes - Lajes com 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....  | <b>51</b> |

**TABELA 4.16 a:** Deslocamentos centrais - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente ....**52**

**TABELA 4.16 b:** Deslocamentos centrais - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente ....**53**

**TABELA 4.17 a:** Momentos máximos atuantes - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente .....**54**

**TABELA 4.17 b:** Momentos máximos atuantes - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente .....**55**

## LISTA DE FIGURAS

---

### CAPÍTULO 2

- FIGURA 2.1:** Desabamento na obra de ampliação do shopping SP Market, São Paulo, 2009 [Fonte: Portal IG, 2009] ..... **08**
- FIGURA 2.2:** Desabamento durante a concretagem das lajes do 3º pavimento de edifício residencial, Vitória, 2009 [Fonte: Gazeta On Line, 2009]..... **09**

### CAPÍTULO 3

- FIGURA 3.1:** Modelo estrutural de cálculo ..... **20**
- FIGURA 3.2:** Níveis de escoramento usuais para lajes em concreto moldado “in loco” – 1º modelo..... **23**
- FIGURA 3.3:** Modelos processados..... **24**
- FIGURA 3.4:** Malha com elementos quadrangulares – 0,5 x 0,5 metros – Gerada pelo programa computacional ..... **29**

### CAPÍTULO 4

- FIGURA 4.1:** Momento máximo atuante no 1º pavimento com um nível de escoramento e dois de escoramento remanescente para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias ..... **34**

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| <b>FIGURA 4.2:</b>  | Momento máximo atuante no 3º pavimento com um nível de escoramento e um de escoramento remanescente para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....       | <b>36</b> |
| <b>FIGURA 4.3:</b>  | Momento máximo atuante no 3º pavimento com apenas um nível de escoramento para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....                                 | <b>37</b> |
| <b>FIGURA 4.4:</b>  | Momento máximo atuante no 3º pavimento com um nível de escoramento e um de escoramento remanescente para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....       | <b>39</b> |
| <b>FIGURA 4.5:</b>  | Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....  | <b>42</b> |
| <b>FIGURA 4.6:</b>  | Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias .....  | <b>43</b> |
| <b>FIGURA 4.7:</b>  | Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias .....  | <b>44</b> |
| <b>FIGURA 4.8:</b>  | Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias .....  | <b>45</b> |
| <b>FIGURA 4.9:</b>  | Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente ..... | <b>46</b> |
| <b>FIGURA 4.10:</b> | Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente ..... | <b>47</b> |
| <b>FIGURA 4.11:</b> | Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente..... | <b>48</b> |

- FIGURA 4.12:** Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente..... **49**
- FIGURA 4.13:** Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias ..... **50**
- FIGURA 4.14:** Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias ..... **51**
- FIGURA 4.15:** Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente..... **52**
- FIGURA 4.16:** Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente ..... **53**
- FIGURA 4.17:** Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente..... **54**
- FIGURA 4.18:** Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente..... **55**

## RESUMO

---

VIVACQUA, Maria Aparecida Costa de Sousa. **Análise do efeito do escoramento de um pavimento superior sobre os inferiores, para lajes em concreto armado moldado "in loco"**. 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo.

Este trabalho dedica-se à verificação do efeito de escoramentos de pavimentos superiores sobre pavimentos inferiores, com foco no comportamento das lajes moldadas “in loco”, tendo como parâmetros de análise os deslocamentos centrais e os momentos máximos atuantes. O modelo estrutural foi desenvolvido em um programa computacional comercial que utiliza o Método dos Elementos Finitos. Através deste modelo foram realizadas análises sobre os ciclos construtivos e níveis de escoramentos usuais para quatro dimensões de lajes, com o objetivo de verificar a influência dos ciclos construtivos reduzidos no comportamento da estrutura e, de determinar a quantidade de níveis de escoramento realmente necessários. O modelo proposto foi constituído por uma estrutura com quatro pavimentos (o último pavimento representando a laje recém concretada), com pé direito de 3 metros, sendo cada pavimento composto por quatro pilares, quatro vigas, uma laje e um conjunto de escoras metálicas. Neste sistema estrutural foram processadas quatro dimensões de lajes: 4x4, 5x5, 6x6 e 4x6 metros. Após estas análises pôde-se concluir que: (a) no modelo proposto é possível reduzir a quantidade de escoras utilizadas na prática corrente de obras, e que esta redução varia de acordo com as dimensões das lajes; (b) em todas as dimensões de lajes estudadas, foi o parâmetro de momento máximo, e não do parâmetro de deslocamento máximo, que determinou a quantidade de níveis de escoramento; (c) os ciclos construtivos de 10 dias são adequados para as estruturas analisadas; e (d) que um aumento neste intervalo de execução não trará benefícios significativos às estruturas com as mesmas características das estudadas neste trabalho, com relação aos momentos fletores e deslocamentos nas lajes.

**Palavras-chave:** Lajes, fôrmas, níveis de escoramentos, ações de construção, momentos fletores, deslocamentos, ciclos construtivos.

## ABSTRACT

---

VIVACQUA, Maria Aparecida Costa de Sousa. **Analysis of the effect of shoring an upper floor on lower floors for reinforced concrete slabs cast in-situ.** 2009. 77 p. Dissertation (Master in Civil Engineering) – Espírito Santo Federal University.

The aim of the present work is to investigate the effect of shoring the upper floors on lower floors, with focus on the behavior of slabs cast on site, having the central displacement and maximum moments as the analysis parameters. The structural model was developed with a commercial computer program that uses the Finite Element Method. With this model, tests were performed on the usual cycles of construction and shoring levels for four dimensions of slabs in order to check the influence of reduced construction cycles on the behavior of the structure and to determine the number of levels of shoring really needed. The proposed structural model consists of a structure with four floors (the latter representing a freshly placed concreted floor), with a height of 3 meters, each floor composed of four pillars, four beams, a slab and a metallic shoring system. Four dimensions of slabs, 4x4, 5x5, 6x6 and 4x6 meters, were processed in this structural system. The analysis allows one to concluded that: (a) the proposed design can reduce the amount of shores used in current work practices, and that this reduction varies with the size of the slabs, (b) in all studied slab dimensions, the parameter of the maximum moment, and not that of maximum displacement, determined the number of levels of shoring (c) the construction cycle of 10 days is suitable for the structural models studied, and (d) that an increase in the interval of cycles will not bring significant benefits to structures with the same characteristics as described in this work with respect to bending moments and displacements on the floor.

**Keywords:** Slabs, formwork, shoring levels, construction loads, bending moments, displacements, construction cycles.



## Capítulo 1: INTRODUÇÃO

---

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A maioria dos projetos de edificações em estruturas de concreto é dimensionada considerando-se a estrutura pronta, sendo que poucas análises são feitas sobre o comportamento destas estruturas durante o período construtivo. Isto pode ser explicado uma vez que muito pouco é conhecido sobre o desempenho estrutural da edificação durante sua construção, pois praticamente toda literatura existente preocupa-se com o sistema estrutural concluído, e não com o período construtivo.

Existem poucos manuais e livros disponíveis sobre o comportamento da estrutura durante a construção, e o projetista dispõe de pouca informação sobre o efeito do sistema de escoramento (número de pavimentos escorados, espaçamento do escoramento, etc.), do ciclo de construção (tempo entre a concretagem e a remoção das fôrmas), da resistência do concreto, e do trabalho de concretagem no desempenho estrutural do edifício durante a construção. Os prazos curtos estipulados para obras e a utilização de técnicas rápidas de construção reduzem o tempo de concretagem entre os sucessivos pavimentos.

Durante a execução da obra, a estrutura pode ser solicitada por ações muito diversas das consideradas para o projeto estrutural convencional, sendo que em alguns casos estas ações superam àquelas que foram consideradas no projeto, além de atuarem quando o concreto não atingiu a sua resistência máxima.

Outro fator relevante a ser considerado na análise da estrutura durante o período construtivo é o sistema de fôrmas e escoramentos, já que na grande maioria das construções este sistema tem as funções de apoio para o peso próprio da estrutura em construção, até que o material adquira a resistência necessária tornando-se autoportante; suporte de cargas de equipamentos e movimentação de pessoas durante as etapas construtivas e; apoio provisório para materiais, peças estruturais e equipamentos.

O dimensionamento adequado do sistema de fôrmas e escoramentos e o conhecimento da influência deste sistema no comportamento da estrutura de concreto durante o período construtivo são de grande importância para a segurança, durabilidade e custos das obras. O incorreto dimensionamento destes sistemas pode resultar em diversos problemas, tais como: desabamentos, imperfeições estéticas, introdução de esforços não previstos na estrutura,

aparecimento de fissuras, maiores deformações ao longo do tempo, aumento dos custos, etc. Muitos dos colapsos envolvendo estruturas de concreto armado têm sua origem em problemas construtivos, dentre os quais se incluem a aplicação de cargas excessivas sobre escoras, reescoras e lajes de apoio e, principalmente, remoção prematura de escoras e reescoras.

Durante a construção de edifícios em concreto armado, escora-se o pavimento recém concretado, sendo o seu peso suportado pelos pavimentos inferiores que fazem parte do sistema escorado. Se não houver cuidados nesta fase de construção, as cargas suportadas por esses pavimentos poderão exceder as cargas para as quais as lajes foram dimensionadas. Este problema pode ser particularmente agravado quando as cargas de utilização, consideradas no projeto, são inferiores ao peso próprio da estrutura suportada no período construtivo e o concreto ainda não atingiu a resistência final.

Finalmente, embora o sistema de fôrmas e escoramentos seja fator relevante no comportamento, segurança e custo das estruturas de concreto, ainda hoje, em muitas obras, pouca atenção é dada a este item da estrutura, que na maioria das vezes é tratado de maneira empírica, tendo como base a experiência das empresas executantes.

## 1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de verificar o efeito de escoramentos de pavimentos superiores sobre os pavimentos inferiores, com foco no comportamento das lajes moldadas “in loco”, tendo como parâmetros os deslocamentos centrais e os momentos máximos atuantes nas lajes do sistema escorado.

Através do modelo proposto foram realizadas as análises sobre os ciclos construtivos e níveis de escoramentos usuais para quatro dimensões de lajes. Desta maneira, pôde-se verificar a influência dos ciclos construtivos reduzidos nas estruturas e a quantidade necessária de níveis escorados para as dimensões de lajes estudadas.

Foi criado um modelo estrutural de cálculo baseado em algumas práticas utilizadas para a execução de estruturas de concreto, tais como: ciclo construtivo e níveis de escoramento. Este

modelo foi analisado através do programa SAP 2000 – Versão 11, que utiliza o Método dos Elementos Finitos.

### 1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação foi estruturada conforme as seis etapas descritas abaixo:

- 1ª Etapa – Levantamento bibliográfico sobre os temas relacionados à dissertação. Este levantamento teve o objetivo de verificar o cenário atual sobre os temas em questão e posicionar a dissertação neste contexto.
- 2ª Etapa – Formulação do problema.
- 3ª Etapa – Criação e aferição do modelo estrutural, através de um programa computacional comercial que utiliza o Método dos Elementos Finitos.
- 4ª Etapa – Aplicações do modelo estrutural para várias dimensões de lajes.
- 5ª Etapa – Análise dos resultados encontrados para as várias aplicações do modelo proposto.
- 6ª Etapa – Conclusões e perspectivas futuras.

No **primeiro capítulo** são apresentados os objetivos da pesquisa, a justificativa do tema proposto, e a metodologia utilizada na dissertação.

No **segundo capítulo** é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os temas envolvidos nesta dissertação, tais como: escoramentos, retirada precoce de fôrmas, normas sobre fôrmas e escoramentos, cargas de construção, construção evolutiva e o método dos elementos finitos.

No **terceiro capítulo** é descrito o modelo estrutural de cálculo utilizado para as verificações do comportamento das lajes quando estão em fase de construção. Também foram apresentadas as várias simulações de níveis de escoramento utilizadas nas aplicações do modelo.

No **quarto capítulo** são analisadas as quatro dimensões de lajes propostas para o modelo apresentado e apurados os resultados para cada situação. A partir destes resultados foram feitas as análises em relação aos ciclos construtivos e níveis de escoramento.

No **quinto capítulo** são apresentadas as conclusões do trabalho, com base nas análises feitas nos modelos estruturais propostos, e apresentadas sugestões para trabalhos futuros que dêem continuidade a esta pesquisa.

Nos **Anexos A e B**, são mostradas algumas tabelas do programa computacional utilizado, de forma a ilustrar as entradas e saídas de dados, no caso, os dados de entrada do modelo de laje 6x6 metros.

## **Capítulo 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

## 2.1 INTRODUÇÃO

Definem-se por sistemas de fôrmas e escoramentos todas as estruturas provisórias de uma construção que serão posteriormente removidas ou perdidas. Na grande maioria das construções o sistema de fôrmas e escoramentos tem basicamente as seguintes finalidades: suporte do peso próprio da estrutura em construção, até que o material, neste caso o concreto, adquira a resistência necessária tornando-se autoportante; suporte de cargas de equipamentos e movimentação de pessoas durante as etapas construtivas, além de apoio provisório para materiais (PFEIL, 1987; FAJERSZTAJN, 1992).

Apesar de sua indiscutível importância durante o processo construtivo, pouca atenção é dada ao projeto do sistema de fôrmas e escoramento, que muitas vezes é substituído pela execução empírica dos construtores. Atualmente já existem manuais e normas disponíveis que trazem alguns parâmetros como quantidade mínima de níveis de escoramento e ciclos construtivos. No entanto, parece que estes e outros requisitos existentes nos sistemas foram desenvolvidos a partir da combinação de abordagens determinísticas e da experiência e julgamentos anteriores, sem levar em consideração a influência desses requisitos nos colapsos, vida útil da estrutura, custos, etc. Isto não é propriamente uma surpresa uma vez que muito pouco é conhecido sobre o desempenho estrutural da edificação durante sua construção. Praticamente toda literatura existente preocupa-se com o sistema estrutural concluído, e não com o período construtivo (EPAARACHCHI, 2002).

O correto dimensionamento do sistema de fôrmas e escoramento resultará em um sistema eficiente, racional e econômico, que proporcionará a segurança necessária exigida no processo construtivo, além de contribuir para a redução do custo total deste insumo, que nos edifícios habitacionais e comerciais com vários andares, varia entre 8% e 12% do valor total da obra (PRADO, 1999; MARANHÃO, 2000).

Um sistema de fôrmas e escoramentos mal dimensionado poderá gerar diversos problemas para a edificação, tais como: custo elevado, imperfeições estéticas, fissuras e trincas nas estruturas e alvenarias, desabamentos, entre outros. Além destes danos, poderão ocorrer durante a vida da estrutura outros problemas, tais como aumento dos deslocamentos nos pavimentos ao longo tempo devido à fluência do concreto, que serão agravados pelo

aparecimento de fissuras prematuras oriundas de sistema de fôrmas e escoramentos ineficiente (PRADO & CORRÊA, 2002, NAZAR, 2007).

Aproximadamente 70% dos colapsos envolvendo estruturas de concreto armado têm sua origem em problemas construtivos, dentre os quais se incluem a aplicação de cargas excessivas sobre escoras, reescoras e lajes de apoio e, principalmente, remoção prematura de escoras e reescoras (LIU *at al*, 1988; HADIPRIONO, 1995 *apud* RODRIGUES, 1996). Casos de desabamentos devido às falhas no sistema de escoramento de edifícios têm ocorrido no Brasil, como por exemplo, o desabamento de algumas lajes da ampliação do shopping SP Market em São Paulo em outubro de 2009 (Figura 2.1), e o desabamento do terceiro pavimento de um edifício residencial durante a concretagem das lajes, ocorrido em Jardim Camburi – Vitória, em maio de 2009 (Figura 2.2).



**FIGURA 2.1 – Desabamento na obra de ampliação do shopping SP Market, São Paulo, 2009**  
[Fonte: Portal IG, 2009]





**FIGURA 2.2 – Desabamento durante a concretagem das lajes do 3º pavimento de edifício residencial, Vitória, 2009 [Fonte: Gazeta On Line, 2009]**

As ações de construção que devem ser consideradas na análise estrutural durante o período de construtivo, são as ações de peso próprio do concreto, das fôrmas, escoras e reescoras, que podem ser estimadas com mais facilidade, e também outras, tais como: peso dos trabalhadores, equipamentos, materiais, entulhos, impacto produzido pelo lançamento do concreto, vento, etc. A distribuição destes carregamentos entre os pavimentos depende principalmente dos processos de remoção das escoras e reescoras, e do ciclo construtivo utilizado. É de fundamental importância as relações entre as equipes de projeto e de construção para garantir a segurança e as condições de utilização da estrutura. Caso ocorra alguma sobrecarga que comprometa a estrutura durante a construção, são estas equipes em conjunto que devem determinar as alternativas possíveis de solução, entre as quais pode-se citar: alterar o processo de construção, utilizar concreto com resistência mais elevada ou até mesmo refazer o projeto estrutural (PRADO, 1999).

No caso da execução de lajes, a cada operação de construção uma nova parcela de carga é absorvida pelos conjuntos de pavimentos que se encontram escorados e reescorados e que já

estão curados ou parcialmente curados. Desta maneira, deve-se ser feita uma análise criteriosa destas etapas ao longo da construção, comparando os esforços solicitantes em relação aos resistentes, pois a estrutura em um dado momento da construção pode apresentar esforços superiores aos resistentes previstos nos projetos estruturais convencionais, ocasionando o surgimento de fissuras, deformações excessivas e até mesmo colapsos parciais ou totais. Esta análise estrutural durante a etapa de construção, além de garantir a segurança da estrutura neste período, pode evitar que escoras e reescoras permaneçam instaladas mais tempo que o necessário, agilizando assim o processo de mobilização de equipamentos e o tempo de execução da obra, além de reduzir a influência das ações de construção nas deformações da estrutura (**RODRIGUES, 1996**).

Na prática corrente de obras, a maior parte das empresas responsáveis pela remoção das fôrmas e escoramentos é guiada basicamente pela sua experiência acumulada em construção e pelo prazo de execução da obra, e não por uma análise rigorosa da estrutura de concreto armado durante a fase construtiva (**WAI-FAH CHEN et AL, 1985; RODRIGUES, 1996**).

## 2.2 FORMAS E ESCORAMENTOS

A Norma Brasileira de fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto (**NBR 15696/2009**), lista alguns termos e definições em relação aos sistemas de fôrmas e escoramentos que serão úteis ao entendimento do trabalho proposto, conforme segue:

**Fôrmas** – Estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões de lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante.

**Escoramentos** – Estruturas provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento, todas as ações provenientes das ações das cargas permanentes e variáveis, resultantes do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante.

**Reescoramento e escoramento remanescente** – Estruturas provisórias auxiliares, colocadas sob uma estrutura de concreto que ainda não tem capacidade de resistir totalmente às ações provenientes de cargas permanentes e/ou variáveis, transmitindo-as às bases de apoio rígidas ou flexíveis.

Outro conceito importante neste estudo é o de ciclo construtivo, que segundo **RODRIGUES (1996)**, trata-se do intervalo de tempo entre a concretagem de dois pavimentos consecutivos.

Os materiais mais utilizados em sistemas de formas e escoramentos são a madeira e o aço. Em alguns casos específicos são empregados outros tipos de materiais como: alumínio, papelão, fibra de vidro, isopor, blocos cerâmicos, blocos de argila expandida, blocos de concreto, moldes em polipropileno entre outros. Na **Tabela 2.1**, são apresentados valores característicos básicos dos principais materiais utilizados para fôrmas e escoramentos, para um pré-dimensionamento dos sistemas.

**TABELA 2.1 – Valores Básicos para materiais [Fonte: Manual SH de fôrmas para concreto e escoramentos metálicos]**

| <b>Material</b> | <b>Módulo de Elasticidade (E)<br/>kgf/cm<sup>2</sup></b> | <b>Tensão Admissível tração/compressão e flexão (<math>\sigma</math>)<br/>kgf/cm<sup>2</sup></b> | <b>Tensão Admissível cisalhamento (<math>\tau</math>)<br/>kgf/cm<sup>2</sup></b> |
|-----------------|--|--|--|
| Madeira         | 100.000  | 87   | 30   |
| Compensado      | 70.000   | 68   | -  |
| Aço             | 2.100.000  | 1.400  | 900  |
| Alumínio        | 700.000  | 1.000  | -  |

De acordo com o estudo realizado por **FAJERSZTAJN (1992)**, um sistema de fôrmas e escoramentos deve apresentar três características primordiais: qualidade, segurança e economia. Neste citado trabalho, os sistemas de fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto são classificados em quatro tipos de sistemas:

Sistemas de fôrmas de madeira – Todos os componentes do sistema (fôrmas e escoramentos) são compostos pelo material madeira;

Sistemas de fôrmas metálicas – Todos os componentes do sistema (fôrmas e escoramentos) são compostos pelo material aço ou alumínio;

Sistemas de fôrmas mistas – São sistemas que são compostos por elementos fabricados com materiais diferentes. Normalmente são compostos por fôrmas em material compensado e escoras metálicas;

Sistemas de fôrmas híbridas – São sistemas compostos por subsistemas de materiais diferentes. Estes subsistemas podem ser constituídos pelos materiais mais comuns como aço e madeira, ou por materiais mais específicos como papelão, isopor, blocos cerâmicos e moldes em polipropileno para lajes nervuradas.

Para a escolha do sistema de fôrmas a ser utilizado, devem ser avaliados diversos parâmetros como: acabamento superficial das peças estruturais, projeto da estrutura de concreto, cronograma da obra, disponibilidade de materiais e equipamentos para movimentação, espaço disponível para o canteiro de obras e o porte o empreendimento.

No caso das estruturas de fôrmas e escoramentos em madeira, atualmente são utilizadas diversas espécies como o Pinho Brasileiro ou Pinho do Paraná, o Cedro, o *Pinus Eliotis*, a Araucária e o Eucalipto. Na **Tabela 2.2** são mostradas as características das madeiras mais utilizadas em sistemas de fôrmas.

Ressalta-se ainda o uso da madeira compensada, que é largamente utilizada para a confecção de fôrmas, e deve ser fabricada conforme as recomendações da **NBR 9532/1986** – Chapas de madeira compensada. As chapas compensadas são constituídas por lâminas de madeira, de espessuras entre 1 mm e 4 mm, interligadas entre si através de adesivos a base de resina fenólica (**MOLITERNO, 1989; MANUAL SH, 2008**).

De acordo com a norma **NBR 15696/2009** – Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – entende-se por elementos metálicos aqueles que são constituídos por aço ou alumínio, forjados, laminados, fundidos, extrudados ou fabricados a partir de chapas soldadas, com funções de equipamentos, acessórios ou componentes auxiliares das estruturas dos sistemas de fôrmas e escoramentos. As escoras metálicas são formadas por quatro peças: tubo externo (tubo base com placa soldada e rosca externa); tubo interno (tubo telescópico com placa soldada); luva de regulação e pino. A carga admissível de utilização geralmente é especificada pelo fabricante e tem a sua determinação prescrita na mesma norma.

**TABELA 2.2 – Valores médios das propriedades de rigidez e resistência de algumas madeiras**  
**[Fonte: NBR 7190/1997 – Projeto de estruturas de madeira]**

| <b>Madeira</b>   | <b>Massa<br/>Específica<br/>Aparente (<math>\rho</math>)<br/>kg/m<sup>3</sup></b> | <b>Módulo de<br/>Elasticidade<br/>Longitudinal<br/>(E)<br/>kgf/cm<sup>2</sup></b> | <b>Tensão Admissível<br/>tração/compressão<br/>e flexão (<math>\sigma</math>)<br/>kgf/cm<sup>2</sup></b> | <b>Tensão<br/>Admissível<br/>cisalhamento<br/>(<math>\tau</math>)<br/>kgf/cm<sup>2</sup></b> |
|------------------|---|---|--|--|
| Pinho Brasileiro | 580   | 152.250   | 87   | 8,8  |
| Pinus Eliotis    | 560   | 118.890   | 68   | 12,9   |
| Eucalipto        | 918   | 128.130   | 157  | 7,4  |

### 2.3 DEFORMAÇÕES

Dentro de um intervalo muito amplo, a relação entre as tensões e deformações é de fundamental interesse no projeto estrutural. Sabe-se que qualquer tensão é acompanhada de uma deformação e vice-versa. E ainda que outras deformações também podem surgir por outras causas além das tensões (NEVILLE, 1997).

A importância do conhecimento das deformações é salientada pela possibilidade de uma fissuração, que será caminho aberto à agressão por agentes exteriores, ou pelo surgimento de esforços adicionais nas peças com variação dimensional, em estruturas hiperestáticas. As deformações responsáveis por alterações de volume nas estruturas de concreto podem ser agrupadas como: (a) deformações causadas pelas variações das condições ambientais, tais como, retração, variações de umidade e variações de temperatura e; (b) deformações causadas pela ação de cargas externas, que originam deformação imediata e deformação lenta (PETRUCCI, 1980).

A **NBR 6118/2003** define limites de deslocamento para as estruturas de concreto armado. Segundo esta norma, deslocamentos limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura e são classificados em quatro grupos básicos: (a) aceitabilidade sensorial; (b) efeitos específicos; (c) efeitos em elementos não estruturais e; (d) efeitos em elementos estruturais.

Esta mesma norma, no Anexo A, define a deformação total do concreto no tempo “t” ( $\epsilon_c$ ) como sendo igual a soma da deformação imediata por ocasião do carregamento no tempo “t<sub>0</sub>” ( $\epsilon_c(t_0)$ ), mais a deformação por fluência ( $\epsilon_{cc}$ ) e a deformação por retração ( $\epsilon_{cs}$ ) no intervalo de tempo “t-t<sub>0</sub>” (**Equação 2.1**):

$$\epsilon_c(t) = \epsilon_c(t_0) + \epsilon_{cc}(t) + \epsilon_{cs}(t) \quad (2.1)$$

Neste ponto é importante destacar a propriedade do concreto denominada fluência, que é caracterizada pelo aumento da deformação ao longo do tempo, quando um material está submetido a um carregamento constante. A relevância desta propriedade é ressaltada por **NEVILLE, 1997**, segundo o qual, a fluência pode ser definida como o aumento da deformação sob carga mantida e, como esse aumento pode ser várias vezes maior do que a deformação no momento do carregamento, esta propriedade tem considerável importância nas estruturas de concreto.

Outro ponto relevante a respeito deste assunto deve-se ao fato de que a fluência dos concretos carregados em baixas idades é maior nas primeiras semanas de carregamento, se comparada com concretos carregados em idades maiores. Isto pode ser justificado, devido ao maior grau de hidratação dos concretos com mais idade, que apresentam sua estrutura interna mais compacta e menos água disponível (**KUPERMAN, 2007**).

A **NBR 6118/2003** também destaca e aborda detalhadamente a propriedade da fluência. Esta norma descreve que a deformação por fluência ( $\epsilon_{cc}$ ) compõe-se de duas partes, uma rápida e outra lenta. A deformação rápida ( $\epsilon_{cca}$ ) é irreversível e ocorre durante as primeiras 24 horas após a aplicação da carga que a originou, e depende da idade de carregamento da peça. A deformação lenta é por sua vez composta por duas outras parcelas: a deformação lenta irreversível ( $\epsilon_{ccf}$ ), que também depende da idade de carregamento, e a deformação lenta reversível ( $\epsilon_{ccd}$ ), sendo a deformação por fluência expressa nesta norma pela **Equação 2.2**:

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{cca} + \epsilon_{ccf} + \epsilon_{ccd} \quad (2.2)$$

Portanto, a fluência é um ponto muito importante em estudos de escoramento, já que afeta especialmente os concretos carregados com baixas idades. No entanto, ela não será

considerada nos cálculos subseqüentes, sendo sugerido um estudo futuro, levando-se em conta este fenômeno.

## 2.4 AÇÕES DE CONSTRUÇÃO

Na maioria das vezes, os projetos estruturais de edifícios são concebidos somente com as ações correspondentes à fase de ocupação e considerando a resistência final do concreto. Torna-se necessário, desta forma, a verificação do comportamento das estruturas em fase de construção, pois nesta etapa as ações atuantes são influenciadas pelo processo construtivo, e podem em alguns casos alcançar valores superiores aos considerados em projeto, comprometendo assim elementos estruturais como lajes, vigas e pilares. Outro ponto refere-se ao fato que durante a construção, o pavimento recém concretado é suportado por outros, através de escoras e reescoras, sendo que nestes pavimentos o concreto ainda não alcançou a sua resistência final, devido aos ciclos construtivos usuais inferiores ao prazo de 28 dias **(PRADO & CORRÊA, 2002; RODRIGUES, 1996)**.

Grande parte das ações permanentes (peso próprio, revestimentos, alvenarias, etc.) ocorre durante o período construtivo e são o principal motivo pelas distorções entre os esforços calculados e os realmente desenvolvidos pela estrutura **(GORZA, 2000)**.

As ações de construção podem ser divididas em verticais e horizontais. As ações horizontais são decorrentes do vento, do lançamento e adensamento do concreto e do funcionamento de equipamentos. As ações verticais são provenientes do peso próprio dos materiais, que são de fácil estimativa, e das ações devido a outros fatores como: peso dos trabalhadores, equipamentos, materiais, entulhos, impacto produzido pelo lançamento do concreto, etc.

A norma brasileira para projeto de estruturas de concreto **(NBR 6118/2003, p.56)**, recomenda a verificação da estrutura durante o período de construção, no entanto, não especifica os valores a serem considerados para as ações de construção e nem especifica como deve ser tratada a distribuição destas ações na estrutura, conforme trecho que segue:

As estruturas em que todas as fases construtivas não tenham sua segurança garantida pela verificação da obra pronta devem ter, incluídas no projeto, as verificações das fases construtivas mais significativas e sua influência na fase final.

A verificação de cada uma dessas fases deve ser feita considerando a parte da estrutura já executada e as estruturas provisórias auxiliares com os respectivos pesos próprios. Além disso, devem ser consideradas as cargas acidentais de execução.

A determinação de valores para as ações a serem utilizados durante o período de construção é recente na normatização brasileira, a norma **NBR 15696/2009** – Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – válida a partir de maio de 2009, recomenda uma sobrecarga mínima de  $2,0 \text{ kN/m}^2$  para o dimensionamento de fôrmas e escoramentos, referente aos serviços de lançamento, adensamento e acabamento do concreto. Já para o projeto de escoramentos remanescentes e reescoramentos, esta mesma norma recomenda dois parâmetros mínimos a serem considerados:

- Sobrecarga de utilização dos pavimentos, no processo evolutivo das concretagens e demais etapas executivas de obra não inferior a  $1,0 \text{ kN/m}^2$ ;
- As distâncias máximas recomendadas para posicionamento dos elementos verticais de suporte são  $2,0 \times 2,0$  metros, sendo que vãos maiores poderão ser utilizados desde que justificados pelo projetista da estrutura de concreto.

No estudo realizado por **RODRIGUES (1996)**, constatou-se que a quantidade e disposição de escoras e reescoras sobre lajes devem ser consideradas na avaliação dos esforços, pois as cargas concentradas introduzidas por estes elementos podem conduzir a um relevante acréscimo de momentos fletores nas lajes, principalmente naquelas com vãos menores, já que estas exigem um número reduzido de escoras. Ainda neste estudo são descritos alguns fatores que influenciam na magnitude e distribuição das ações de construção, tais como:

- Idade da laje – A distribuição das ações atuantes sobre as lajes de um sistema de apoio é proporcional à rigidez relativa das lajes. Para lajes com mesma espessura e condições de bordo pode-se assumir que a rigidez das lajes é proporcional ao seu módulo de elasticidade, cujo valor depende da idade da laje;
- Número de pavimentos escorados – A distribuição das ações de construção modifica-se conforme o número de pavimentos escorados, pois à medida que as lajes estão escoradas as mesmas não se deformam livremente e não distribuem as ações para os demais elementos da



estrutura, como vigas e pilares. Desta forma as ações de construção são transmitidas a todas as lajes componentes do sistema de apoio (conjunto de pavimentos escorados e reescorados).

## 2.5 CONSTRUÇÃO EVOLUTIVA

A análise da evolução das ações nos pavimentos de um edifício deve ser feita de maneira incremental, considerando-se a sobreposição gradual de pavimentos, conforme a sequência natural de construção. Isto se deve ao fato de que, durante a construção de um pavimento, grande parte das ações, principalmente as permanentes, solicita a estrutura, gerando deslocamentos em seus nós. Quando o próximo pavimento é executado, os deslocamentos no pavimento inferior já terão ocorrido. Este comportamento demonstra claramente a diferença entre o procedimento convencional, que adota os deslocamentos ocorrendo todos de uma só vez, considerando a estrutura pronta e o procedimento incremental, que considera os deslocamentos ocorrendo a cada etapa construtiva (**PRADO et al, 1998 *apud* GORZA, 2000**).

Como exemplo da diversidade de comportamento das estruturas entre as fases de construção e ocupação, pode-se citar o estudo realizado por **CHOI & KIM (1985)**, segundo o qual, em um edifício, o pilar externo é carregado aproximadamente com metade do carregamento do qual um pilar do interior é submetido. No entanto, existe uma tendência em projetar os pilares externos praticamente com a mesma área de seção transversal que os pilares internos, isso ocorre principalmente porque área transversal adicional é necessária nos pilares externos para resistir a forças induzidas por momentos de torção provenientes de cargas laterais. Portanto, existe uma substancial desigualdade entre a taxa de carregamento vertical aplicado na seção transversal de pilares externos e internos. Esta desigualdade pode causar deslocamentos diferentes entre os pilares externos e internos da estrutura. Os resultados obtidos mostraram que, na análise de edifícios altos, os deslocamentos diferenciais e os momentos de flexão resultantes nos pilares são muito significativos e não pode ser negligenciados.

Em uma análise incremental considera-se que as cargas atuantes em um dado pavimento não podem gerar tensões e deslocamentos em um pavimento superior, que ainda não foi construído. Logo, quando os deslocamentos do andar inferior já tiverem ocorrido devido ao seu carregamento, na próxima análise do pavimento superior, consideram-se nulos todos os

carregamentos do inferior e utiliza-se o “Princípio da Superposição dos Efeitos” (**GORZA, 2000**).

## **2.6 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

O modelo estrutural deste trabalho foi desenvolvido em um programa computacional (SAP 2000 – Versão 11) que utiliza o Método dos Elementos Finitos. A escolha deste tipo de sistema visa alcançar maiores precisões nos resultados.

O método dos elementos finitos consiste em subdividir a estrutura a ser analisada em partes menores e mais simples, denominadas elementos finitos. A ligação entre os elementos finitos é efetuada pelos nós ou pontos nodais, que podem estar localizados nos vértices e nos lados dos elementos, dependendo do tipo de elemento finito. Associa-se aos elementos finitos uma função aproximada dos deslocamentos sem seus domínios. Os deslocamentos internos ao elemento ficam determinados exclusivamente em função dos deslocamentos nodais. Após a minimização da energia potencial total da estrutura, obtém-se um sistema de equações lineares cuja resolução fornece os deslocamentos nodais e, a partir desses, as tensões ou esforços são obtidos. O Método dos Elementos Finitos, quando convenientemente aplicado, fornece resultados bem próximos do exato. Para que isto ocorra é necessário que a estrutura seja corretamente modelada (**SOUSA & PAIVA, 1999**).

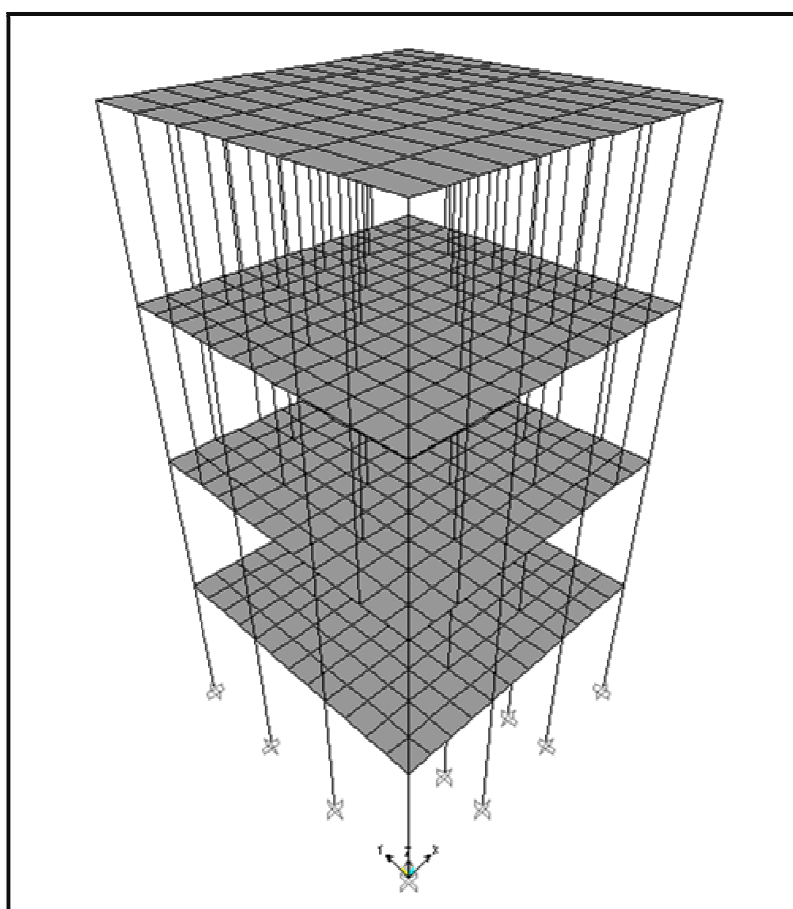
## **Capítulo 3: MODELO ESTRUCTURAL DE CÁLCULO**

---

### 3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se o desenvolvimento do modelo estrutural de cálculo utilizado para o estudo do comportamento de lajes em concreto armado moldado “in loco”, durante o período de construção, em função dos níveis de escoramento aplicados e o intervalo de tempo de concretagem de cada pavimento. Os principais parâmetros de comparação utilizados foram os deslocamentos verticais nos pontos centrais e os momentos máximos atuantes nas lajes.

O modelo estrutural proposto foi desenvolvido no programa computacional SAP 2000 – Versão 11, que utiliza o Método dos Elementos Finitos. A escolha deste tipo de sistema teve como objetivo alcançar maiores precisões nos resultados, já que os programas que utilizam o Método dos Elementos Finitos trabalham com uma grande quantidade de dados e executam processamentos de elevada complexidade.



**FIGURA 3.1 - Modelo estrutural de cálculo**

O modelo proposto é uma estrutura composta por quatro pilares, quatro vigas, uma laje e um conjunto de escoras metálicas por pavimento (**Figura 3.1**). No total têm-se quatro pavimentos, com pé direito de 3 metros, sendo que o último (4º pavimento) representa a laje recém concretada. Neste último pavimento, as lajes foram representadas por elementos de fôrmas (madeirite e barrotes), e o peso da laje em concreto, recém concretada, foi considerado como carga permanente.

Após uma pesquisa realizada em empresas da região da Grande Vitória, que executam os serviços de fôrmas e escoramentos, foi escolhido o padrão mais usual de níveis de escoramentos e reescoramentos ou escoramentos remanescentes utilizados freqüentemente para lajes em concreto armado moldadas “in loco”, e que foram testados no modelo. O que foi constatado, através da pesquisa, é que normalmente são utilizados um nível de escoramento e três níveis de reescoramento ou escoramentos remanescentes dispostos da seguinte maneira: o pavimento recém concretado tem um determinado número de escoras, que são função da capacidade estrutural de cada escora, no modelo proposto tem-se uma escora a cada 1 metro quadrado. Nos demais níveis de reescoramento ou escoramento remanescente a quantidade de escoras é função do número utilizado no último pavimento recém concretado. Desta forma, o padrão escolhido foi 100% de escoramento no nível recém concretado, 50% de escoras remanescentes no nível inferior e 25% de escoras remanescentes nos demais (**Figura 3.2**).

Outro dado considerado para o modelo, que também foi adotado em função da prática freqüente em obras de edifícios, foi o ciclo construtivo, ou seja, o intervalo de tempo entre a concretagem de dois pavimentos consecutivos. Verificou-se que a maioria das empresas construtoras tem um intervalo médio de execução dos pavimentos de dez dias.

Para o modelo citado acima, foram analisadas quatro dimensões de lajes, sendo elas: 4x4 metros, 5x5 metros, 6x6 metros e 4x6 metros. E ainda, para as lajes de dimensões 6x6 metros, testou-se um ciclo de construção dos pavimentos com intervalos de 21 dias, com o objetivo de comparar estes resultados com os obtidos nos o ciclos construtivos utilizados na prática corrente de obras. O valor do intervalo de 21 dias, muito superior ao utilizado, foi determinado com base no maior valor definido na antiga norma **NBR 6118/1980**, que previa este prazo para retirada das formas e escoramentos de faces inferiores sem a utilização de reescoramentos. A norma atual para execução de estruturas de concreto não estipula valores

para o prazo de retirada de formas e escoramentos, apenas informa as precauções a serem tomadas, conforme trecho que segue (**NBR 14931/2004, p.7**):

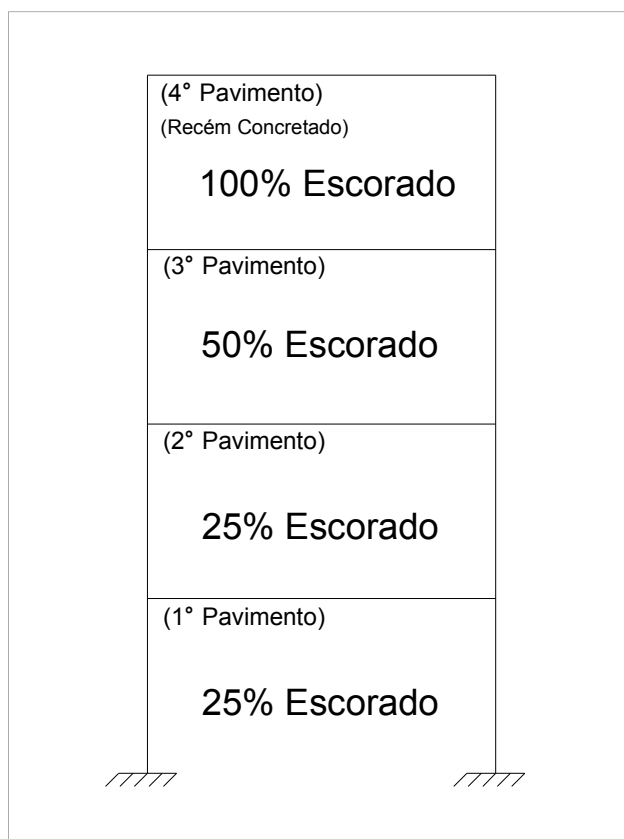
Os planos de desforma e escoramentos remanescentes devem levar em conta os materiais utilizados associados ao ritmo de construção, tendo em vista o carregamento decorrente e a capacidade suporte das lajes anteriores, quando for o caso.

A colocação de novas escoras em posições preestabelecidas e a retirada dos elementos de um primeiro plano de escoramento podem reduzir os efeitos do carregamento inicial, do carregamento subsequente e evitar deformações excessivas. Neste caso devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Nenhuma carga deve ser imposta e nenhum escoramento removido de qualquer parte da estrutura enquanto não houver certeza de que os elementos estruturais e o novo sistema de escoramento têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estarão sujeitos;
- Nenhuma ação adicional, não prevista nas especificações de projeto ou na programação da execução da estrutura de concreto, deve ser imposta à estrutura ou ao sistema de escoramento sem que se comprove que o conjunto tem resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estará sujeito;
- A análise estrutural e os dados de deformabilidade e resistência do concreto usados no planejamento para a reestruturação do escoramento devem ser fornecidos pelo responsável pelo projeto estrutural ou pelo responsável pela obra, conforme acordado entre as partes;
- A verificação de que a estrutura de concreto suporta as ações previstas, considerando a capacidade de suporte do sistema de escoramento e os dados de resistência e deformabilidade do concreto.

Recentemente, em maio de 2009, com a publicação da norma para projetos de fôrmas e escoramentos (**NBR-15696/2009, p.11**) foi estipulado um valor mínimo para o ciclo de remoção/remanejamento. Este ciclo é descrito nesta norma da seguinte forma:

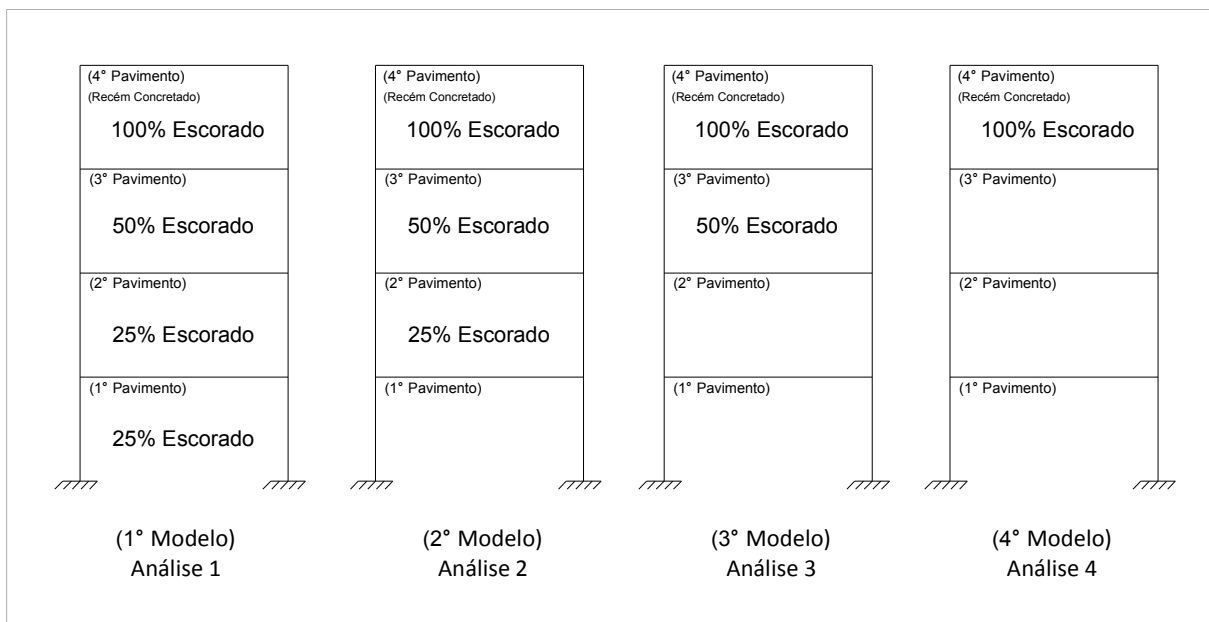
- O ciclo de remoção (ou remanejamento) deve ser de no mínimo 14 dias. Quando da utilização de concretos cujas características de resistência e deformação possam ser alcançadas mais rapidamente, análise e planejamento do sistema de escoras podem ser feitos e o ciclo pode ser reduzido (...).



**FIGURA 3.2 – Níveis de escoramento usuais para lajes em concreto moldado “in loco” – 1° Modelo**

Para cada dimensão de laje foram processados quatro modelos. O primeiro modelo apresentava a quantidade de escoras usualmente utilizadas na execução de edifícios, ou seja, um nível de escoramento e três níveis de escoramento remanescente, distribuídos da seguinte forma: o pavimento recém concretado com 100% de escoramento e os demais com escoramento remanescente de 50%, 25% e 25% respectivamente, conforme descrição anterior. O segundo modelo foi composto por um nível de escoramento e dois níveis de escoramento remanescente, sendo o pavimento recém concretado com 100% de escoramento e dois níveis subsequentes de escoramento remanescente: 50% e 25% respectivamente. O terceiro modelo tinha um nível de escoramento e um de escoramento remanescente, sendo o pavimento recém concretado com 100% de escoramento e nível subsequente com 50% de escoramento remanescente (**Figura 3.3**). Para o quarto modelo foi considerado apenas o pavimento recém concretado totalmente escorado e nenhum nível de escoramento remanescente.

Após todos os processamentos, para cada dimensão de laje, foram comparados os valores de deslocamentos centrais e momentos atuantes encontrados com os parâmetros estipulados, desta forma foram definidos os níveis escoramento necessários para cada dimensão de laje proposta.



**FIGURA 3.3 – Modelos processados**

O parâmetro de comparação para os deslocamentos centrais foi o deslocamento limite estabelecido pela **NBR 6118/2003** – tabela 13.2. Esta tabela apresenta valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura. Foi utilizado o valor para aceitabilidade sensorial, o qual é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável. O valor considerado foi o obtido dividindo-se o valor do vão da laje por 350. Então para cada dimensão de laje tem-se um deslocamento limite (**Tabela 3.1**).

Como parâmetros de comparação para os valores dos momentos atuantes nas lajes, durante o período de construção, foram calculados os momentos atuantes conforme recomendação da **NBR 6118/2003**, para cada dimensão de laje. Estes momentos foram obtidos considerando os seguintes carregamentos: peso próprio, revestimento e sobrecarga de utilização. Os valores do revestimento e sobrecarga foram avaliados conforme **NBR 6120/1980**. Para revestimento foi considerado um valor de 1,5 kN/m<sup>2</sup> e para sobrecarga 1,5 kN/m<sup>2</sup>. Os valores de deslocamentos limites e momentos atuantes em situação de serviço são mostrados na **Tabela 3.1**:



TABELA 3.1 – Parâmetros de comparação

| Dimensões das Lajes<br>(m) | Deslocamento Limite<br>(cm) | Momentos Limite<br>(kN.m) |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 4 x 4                      | 1,10                        | 4,74                      |
| 4 x 6                      | 1,10                        | 9,51                      |
| 5 x 5                      | 1,40                        | 8,14                      |
| 6 x 6                      | 1,70                        | 12,80                     |

### 3.2 DEFINIÇÃO DOS MATERIAS

A primeira etapa de montagem do modelo foi definir todos os materiais utilizados, como o concreto e o aço dos pilares, vigas e lajes, o aço das escoras, o compensado das fôrmas e a madeira dos barrotes.

#### 3.2.1 Concreto

Para o concreto foi definida uma resistência final à compressão ( $f_{ck}$ ) de 25 MPa, sendo que para cada idade do concreto, em cada pavimento, foi definido um conjunto de dados específicos (Tabela 3.2).

TABELA 3.2 – Propriedades do concreto

| Características do Concreto |  |  |   |                               |   |   |
|-----------------------------|--|--|---|-------------------------------|---|---|
| Idade<br>(dias)             | Peso<br>Específico<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Módulo de<br>Elasticidade<br>(kN/m <sup>2</sup> )<br>(Eci) | Módulo de<br>Elasticidade<br>Secante<br>(kN/m <sup>2</sup> )<br>(Ecs) | Coefficiente<br>de<br>Poisson | $f_{ck}$<br>(N<br>Dias)<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | $f_{ck}$<br>Final<br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
| 10                          | 25   | 25.740.000   | 21.879.000  | 0,2                           | 21.127  | 25.000                                    |
| 20                          | 25   | 27.366.000   | 23.261.100  | 0,2                           | 23.881  | 25.000                                    |
| 21                          | 25   | 27.464.000   | 23.344.400  | 0,2                           | 24.052  | 25.000                                    |
| 28                          | 25   | 28.000.000   | 23.800.000  | 0,2                           | 25.000  | 25.000                                    |

Os valores apresentados na **Tabela 3.2**, para a resistência de cálculo ( $f_{ck}$  n dias), foram obtidos para um concreto composto com cimento CPII, conforme item 12.3.3 da **NBR 6118/2003**. Os valores dos módulos de elasticidade, coeficiente de Poisson e coeficiente de dilatação térmica também estão de acordo com as recomendações desta mesma norma. Não foram considerados no modelo os efeitos devido à fluência e retração do concreto.

### 3.2.2 Aço dos elementos estruturais de concreto

O aço considerado para os elementos estruturais de concreto foi o Aço CA-50, que tem as seguintes características:

- Peso específico – 78,5 kN/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidade –  $2,1 \times 10^8$  kN/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson – 0,3
- Limite de escoamento –  $f_y = 500.000$  kN/m<sup>2</sup>
- Limite de ruptura –  $f_u = 550.000$  kN/m<sup>2</sup>

### 3.2.3 Aço das escoras

O aço considerado para as escoras foi o Aço SAE 1020 que tem as seguintes características:

- Peso específico – 78,0 kN/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidade –  $2,1 \times 10^8$  kN/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson – 0,3
- Limite de escoamento –  $f_y = 214.000$  kN/m<sup>2</sup>
- Limite de ruptura –  $f_u = 455.000$  kN/m<sup>2</sup>

### 3.2.4 Madeira e Compensado

As fôrmas do pavimento recém concretado foram consideradas de madeira compensada. Este material é composto por lâminas de madeira dispostas com direção de fibras perpendiculares entre si. As lâminas têm espessura entre 1 mm a 4 mm e a ligação entre elas é feita com cola à base de resina fenólica, resistente à água. Para enrijecimento das fôrmas são utilizados

barrotes em madeira, do tipo Pinho Brasileiro. As características consideradas destes dois materiais são descritas abaixo:

#### **Características do material compensado**

- Peso específico – 5,8 kN/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidade – 7.000.000 kN/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson – 0,3

#### **Características do material madeira tipo Pinho Brasileiro**

- Peso específico – 5,8 kN/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidade – 10.000.000 kN/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson – 0,3

### **3.3 DIMENSÕES DAS PEÇAS ESTRUTURAIS**

A segunda etapa de entrada de dados no programa foi a definição das seções de todas as peças estruturais que compunham o modelo. Nesta etapa foram definidas a geometria e as dimensões dos pilares, vigas, lajes, escoras, fôrmas e barrotes, conforme a seguir:

- Pilares em concreto – Elemento de Barra – Seção retangular – 20 x 30 cm
- Vigas em concreto – Elemento de Barra – Seção retangular – 15 x 50 cm
- Lajes em concreto – Elemento de placa – Dimensões 4 x 4 m – Espessura 8 cm
- Lajes em concreto – Elemento de placa – Dimensões 5 x 5 m – Espessura 10 cm
- Lajes em concreto – Elemento de placa – Dimensões 6 x 6 m – Espessura 12 cm
- Lajes em concreto – Elemento de placa – Dimensões 4 x 6 m – Espessura 10 cm
- Escoras metálicas – Elemento de Barra – Seção tubular – Diâmetro externo 4,8 cm – Espessura da parede 0,6 cm
- Barrotes primários em madeira – Elemento de Barra – Seção retangular – 4 x 16 cm
- Barrotes secundários em madeira – Elemento de Barra – Seção retangular – 8 x 8 cm
- Fôrmas em compensado de madeira – Elemento de placa – Espessura 1,8 cm

Com relação aos tipos de apoios utilizados no modelo, foram considerados quatro pilares engastados na fundação, e todas as escoras e reescoras simplesmente apoiadas.

### 3.4 ARMADURAS

As armaduras da peças estruturais em concreto (**Tabela 3.3**), adotadas nos modelos, foram calculadas conforme **NBR 6118/2003**. Os carregamentos considerados foram o peso próprio, o revestimento e a sobrecarga de utilização. Os valores do revestimento e sobrecarga foram avaliados conforme **NBR 6120/1980**. Para revestimento foi considerado um valor de 1,5 kN/m<sup>2</sup> e para sobrecarga 1,5 kN/m<sup>2</sup>.

Com relação à entrada de dados de armaduras no programa computacional, para os pilares foi necessário entrar com as armaduras longitudinais, os estribos, o cobrimento utilizado e o tipo de aço. Para as vigas, os dados de entrada foram as armaduras longitudinais, o cobrimento e o tipo de aço, sendo os estribos definidos pelo programa. Para as lajes os dados de entrada foram o tipo de aço e a posição das armaduras em relação ao topo do elemento de placa.

**TABELA 3.3 – Armaduras**

| Elemento Estrutural |              | Modelo<br>4x4 m                     | Modelo<br>4x6 m                              | Modelo<br>5x5 m                     | Modelo<br>6x6 m                   |
|---------------------|--------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pilares             | Longitudinal | 4 $\Phi$ 10 mm                      | 4 $\Phi$ 10 mm                               | 4 $\Phi$ 10 mm                      | 4 $\Phi$ 10 mm                    |
|                     | Estribos     | $\Phi$ 5 mm c/ 15 cm                | $\Phi$ 5 mm c/ 15 cm                         | $\Phi$ 5 mm c/ 15 cm                | $\Phi$ 5 mm c/ 15 cm              |
| Vigas               | Longitudinal | 2 $\Phi$ 10 mm                      | 2 $\Phi$ 16 mm                               | 2 $\Phi$ 12.5 mm                    | 2 $\Phi$ 16 mm                    |
|                     | Estribos     | $\Phi$ 5 mm c/ 25 cm                | $\Phi$ 5 mm c/ 25 cm                         | $\Phi$ 5 mm c/ 25 cm                | $\Phi$ 5 mm c/ 25 cm              |
| Lajes               |              | $\Phi$ 6.3 mm c/ 10 cm (2 direções) | $\Phi$ 8 mm c/ 15 cm<br>$\Phi$ 5 mm c/ 10 cm | $\Phi$ 6.3 mm c/ 10 cm (2 direções) | $\Phi$ 8 mm c/ 14 cm (2 direções) |

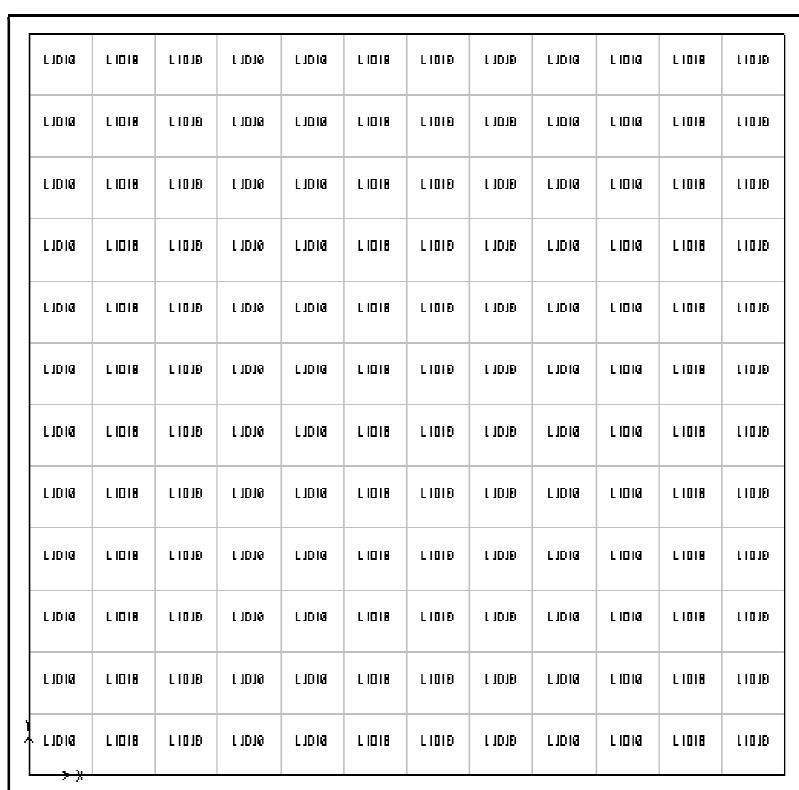
### 3.5 DISCRETIZAÇÃO DAS LAJES

Para a escolha da malha de discretização das lajes, foi feito um estudo em uma estrutura composta de dois pavimentos, com lajes de dimensões 6x6 metros. O segundo pavimento representava uma laje recém concretada sobre fôrmas e escorada, e o primeiro representava uma laje concretada há dez dias com escoramento remanescente de 50%. Foram testadas quatro situações de discretização para a laje em questão. No primeiro processamento, a laje do primeiro pavimento foi discretizada em 144 elementos quadrangulares de 0,5 x 0,5 metros, no segundo processamento, a mesma laje foi discretizada em 576 elementos quadrangulares de

0,25 x 0,25 metros, no terceiro processamento, a laje foi discretizada em 2304 elementos quadrangulares de 0,125 x 0,125 metros, e no quarto processamento, a laje foi discretizada em 3600 elementos quadrangulares de 0,10 x 0,10 metros. Após os processamentos das quatro situações, foram comparados os valores dos deslocamentos centrais da laje analisada, estes valores são mostrados na **Tabela 3.4**.

**TABELA 3.4 – Comparações das malhas de discretização**

| Número de elementos da malha de discretização (laje 6 x 6 metros) | Deslocamento central (cm) |
|---|---------------------------|
| 144   | 0,050                     |
| 576   | 0,048                     |
| 2304  | 0,048                     |
| 3600  | 0,048                     |



**FIGURA 3.4 – Malha com elementos quadrangulares – 0,5 x 0,5 metros – Gerada pelo programa computacional**

Com base nos valores mostrados na **Tabela 3.3**, que demonstram uma diferença pouco significativa entre os valores de deslocamento central à medida que a malha de discretização é aumentada, e o tempo de processamento que se eleva consideravelmente em função do maior número de elementos na malha, foi escolhida a malha de 144 elementos quadrados para ser utilizada no modelo proposto, que resulta em elementos quadrados de 0,5 x 0,5 metros. As vigas também foram discretizadas em elementos de comprimento igual a 0,5 metros (**Figura 3.4**).

### 3.6 CONSIDERAÇÕES DE CARGAS

As ações de construção aplicadas no modelo são compostas por: peso próprio da estrutura em concreto, das fôrmas, das escoras e reescoras; além de cargas provenientes dos pesos de operários, materiais e equipamentos.

As considerações de sobrecargas, para o modelo proposto, foram feitas a partir dos valores recomendados pela **NBR 15696/2009**. O valor considerado nas lajes foi de 2,0 kN/m<sup>2</sup>, este valor corresponde a sobrecarga de trabalho na execução dos serviços de lançamento, adensamento e acabamento do concreto.

A norma **NBR 15696/2009** de dimensionamento de fôrmas e escoramentos fixa outros valores de cargas a serem considerados, tais como: impacto do lançamento do concreto, vibrações do concreto, vibrações decorrentes de equipamentos de adensamento, e pressões de vento. Porém, como o objetivo do trabalho não é o dimensionamento das fôrmas e escoramentos e sim a verificação do efeito dos escoramentos nas lajes inferiores ao pavimento recém concretado, estes valores não foram considerados no modelo. A sobrecarga considerada para o pavimento recém concretado também foi considerada para os demais pavimentos inferiores. Esta carga é superior ao valor mínimo recomendado, nesta mesma norma, para o projeto de reescoramento ou escoramento remanescente, cujo valor é de 1,0 kN/m<sup>2</sup>.

Todas as análises foram feitas com base nos valores obtidos com a utilização da combinação de serviço composta por carga permanente mais sobrecarga. Foram utilizados coeficientes iguais a 1,0 ( $\gamma_g$  e  $\gamma_q$ ) para ambas as cargas (**Equação 3.1**):

$$F_{d, \text{serv}} = \gamma_g \cdot F_g + \gamma_q \cdot F_q \quad (3.1)$$

## **Capítulo 4: APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

---

## 4.1 APLICAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo, apresentam-se os passos de análise e os resultados obtidos para os modelos descritos no capítulo anterior, compostos por quatro pavimentos de lajes nas dimensões de 4x4 metros, 4x6 metros, 5x5 metros e 6x6 metros.

Para cada uma dessas dimensões de laje, analisou-se o modelo estrutural com quatro níveis de escoramento e ciclo construtivo de 10 dias (**Tabela 4.1 - Análise 01**), conforme prática mais corrente na execução de edifícios com lajes em concreto moldado “in loco”. Em relação à laje de dimensão 6x6 metros, estudou-se também o modelo com ciclo construtivo de 21 dias, de forma a comparar se este parâmetro realmente teriam influência relevante nos dados obtidos.

Depois de realizada a Análise 01, seus valores de deslocamento central (translação no eixo Z) e momento máximo atuante em cada laje de cada pavimento foram anotados.

Em seguida foram retirados os escoramentos do 1º pavimento deste modelo (**Tabela 4.1 - Análise 02**), executados os processamentos e anotados os resultados referentes a esta análise. Desta mesma forma retiraram-se os escoramentos do 2º e 3º pavimentos (**Tabela 4.1 - Análises 03 e 04**) e feitas as análises para cada situação, anotando-se os respectivos valores.

**TABELA 4.1 – Passos de análise – Modelo padrão de análise**

| Pavimentos                      | Níveis de Escoramento |            |            |            |
|---------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
|                                 | Análise 01            | Análise 02 | Análise 03 | Análise 04 |
| 4º Pavimento (recém concretado) | 100%                  | 100%       | 100%       | 100%       |
| 3º Pavimento                    | 50%                   | 50%        | 50%        | -          |
| 2º Pavimento                    | 25%                   | 25%        | -          | -          |
| 1º Pavimento                    | 25%                   | -          | -          | -          |

Em virtude dos resultados iniciais obtidos para as lajes de dimensão 4x6 metros e 5x5 metros, que demonstraram uma boa margem em relação aos parâmetros adotados, verificou-se a necessidade de estudar uma alternativa para o 3º pavimento (**Tabela 4.2 - Análise 03-b**),



utilizando um percentual de escoramento de 25% ao invés de 50% como definido no modelo padrão.

**TABELA 4.2 – Modelo alternativo de análise para as lajes 4x6 metros e 5x5 metros**

| Pavimentos                      | Níveis de Escoramento |
|---------------------------------|-----------------------|
|                                 | Análise 03-b          |
| 4º Pavimento (recém concretado) | 100%                  |
| 3º Pavimento                    | 25%                   |
| 2º Pavimento                    | -                     |
| 1º Pavimento                    | -                     |

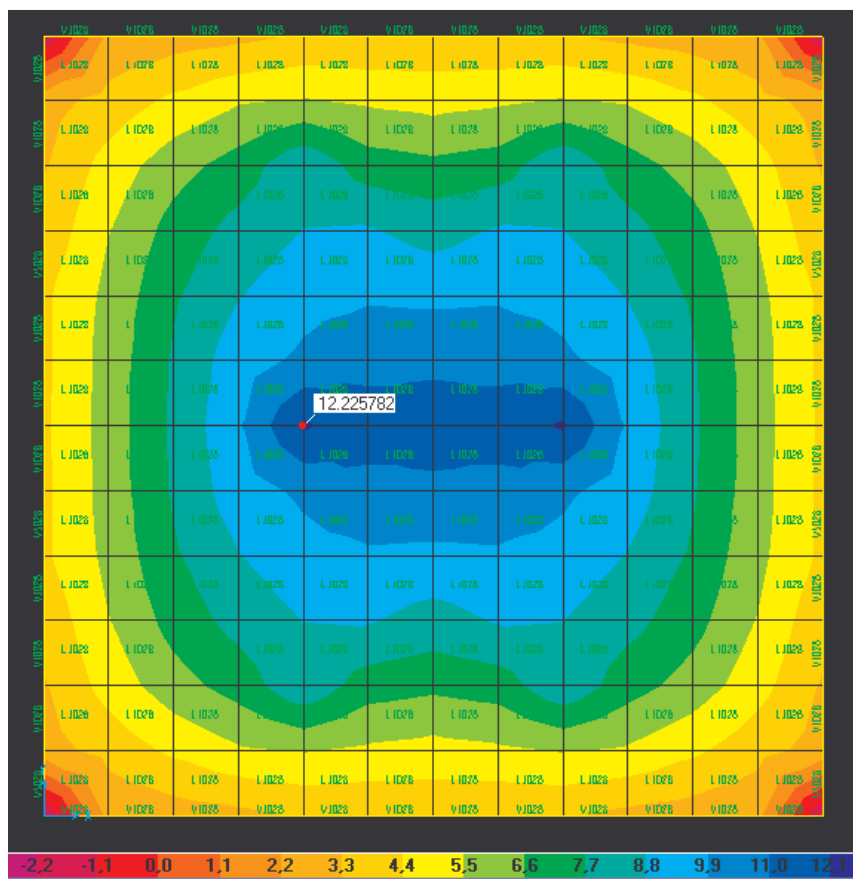
## 4.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.2.1 Laje 6x6 com ciclo construtivo de 10 e 21 dias

Os resultados obtidos para o modelo de laje 6x6 metros com ciclo construtivo de 10 dias são mostrados nas **Tabelas 4.8 e 4.9** e nas **Figuras 4.5 e 4.6** e os resultados obtidos para o modelo de laje 6x6 metros com ciclo construtivo de 21 dias são mostrados nas **Tabelas 4.10 e 4.11** e nas **Figuras 4.7 e 4.8**.

Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros apresentados no Capítulo 3 (**Tabela 3.1**) e como resultado desta comparação foi possível constatar que para lajes de dimensão 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias é necessário um nível de escoramento e dois níveis de escoramentos remanescentes, sem que haja necessidade do escoramento remanescente de 25% para o 1º pavimento (**Tabela 4.3**).

O parâmetro de comparação que determinou a utilização de um nível de escoramento e dois níveis de escoramento remanescente foi o momento máximo atuante na laje do 3º pavimento, que foi de 12,2 kN.m (**Figura 4.1**), inferior ao limite estipulado de 12,80 kN.m. Em relação ao comparativo com o parâmetro de deslocamento central, pôde-se observar que somente com um nível de escoramento e um de escoramento remanescente, o valor limite de 1,7 cm já seria atendido.



**FIGURA 4.1 – Momento máximo atuante no 1º pavimento com um nível de escoramento e dois de escoramento remanescente para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

Quando comparados os ciclos construtivos de 10 dias e 21 dias, verificou-se que não há diferenças significantes nos valores de deformações centrais e momentos máximos atuantes em função do aumento proposto para o período de ciclo construtivo, sendo, portanto, apropriado o ciclo construtivo de 10 dias para as condições propostas.

**TABELA 4.3 – Níveis de escoramento para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

| Laje 6x6 metros                 | Níveis de Escoramento |
|---------------------------------|-----------------------|
| 4º Pavimento (recém concretado) | 100%                  |
| 3º Pavimento                    | 50%                   |
| 2º Pavimento                    | 25%                   |
| 1º Pavimento                    | -                     |

#### 4.2.2 Laje 5x5 com ciclo construtivo de 10 dias

Como já dito, no modelo de lajes 5x5 metros, foi testado, além dos níveis de escoramento descritos como modelo padrão (**Tabela 4.1**), um modelo com um nível de escoramento de 100% para o 4º pavimento recém concretado e um nível de escoramento remanescente de 25% para o 3º pavimento (**Tabela 4.2**).

Dessa forma, para a laje com dimensões de 5x5 metros com ciclo construtivo de 10 dias, foram encontrados os resultados mostrados nas **Tabelas 4.12-a, 4.12-b, 4.13-a e 4.13-b** e nas **Figuras 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12**.

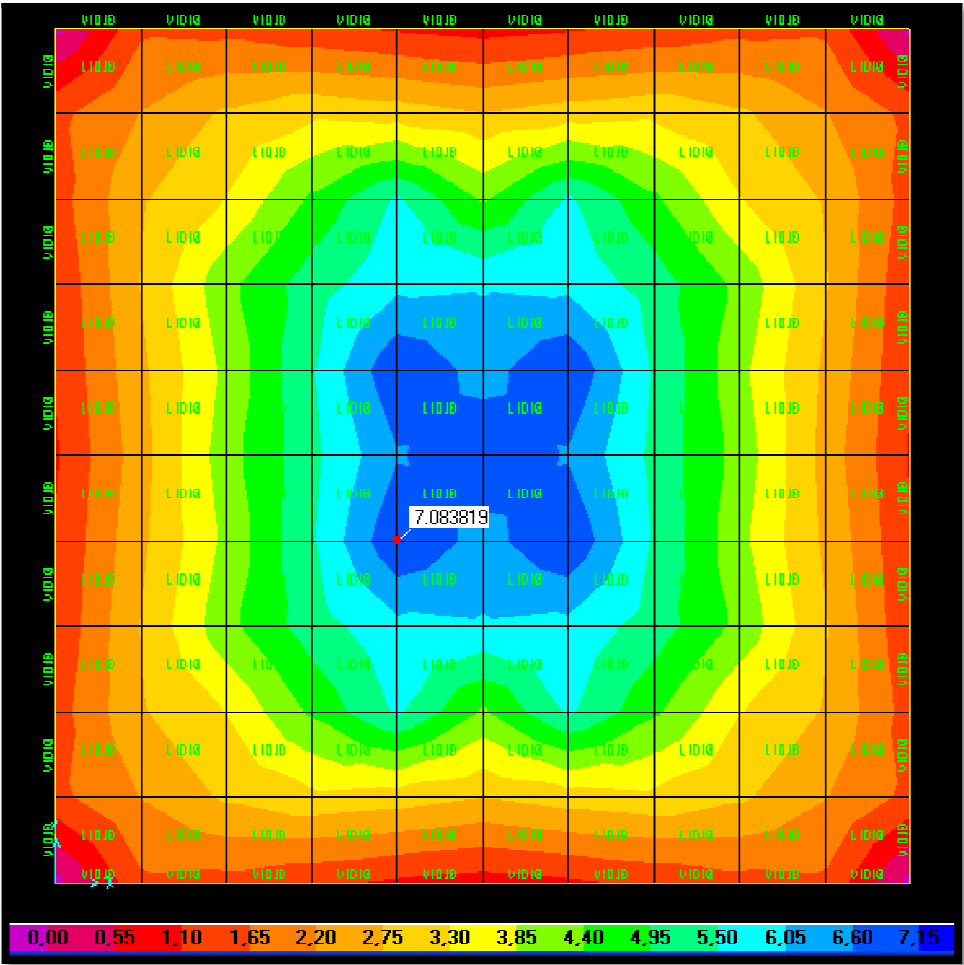
Os resultados obtidos as lajes com dimensões 5x5 metros foram comparados com os parâmetros apresentados no Capítulo 3 (**Tabela 3.1**). De acordo com esta comparação pôde-se verificar que para estas dimensões de laje com ciclo construtivo de 10 dias, é necessário um nível de escoramento e apenas um nível de escoramento remanescente.

Verificou-se também que este único nível de escoramento remanescente não necessitaria da quantidade de 50% em relação ao nível escorado (**Análise 03 da Tabela 4.1**), mas apenas a quantidade de 25% (**Análise 03-b da Tabela 4.2**) para atender aos parâmetros estipulados.

O parâmetro de comparação que determinou a utilização de um nível de escoramento e apenas um nível de escoramento remanescente com 25% foi o momento máximo atuante na laje do 3º pavimento, que foi de 7,1 kN.m (**Figura 4.2**), inferior ao limite estipulado de 8,14 kN.m na **Tabela 3.1**.

Em relação ao comparativo com o parâmetro de deslocamento central, pôde-se observar que somente com um nível de escoramento e nenhum de escoramento remanescente, o valor limite de 1,40 cm já seria atendido.

Desta forma, para este modelo, é necessário o uso do 4º pavimento recém concretado com 100% de escoramento e o 3º pavimento com 25% de escoramento remanescente (**Tabela 4.4**).



**FIGURA 4.2 – Momento máximo atuante no 3º pavimento com um nível de escoramento e um de escoramento remanescente para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

**TABELA 4.4 – Níveis de escoramento para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

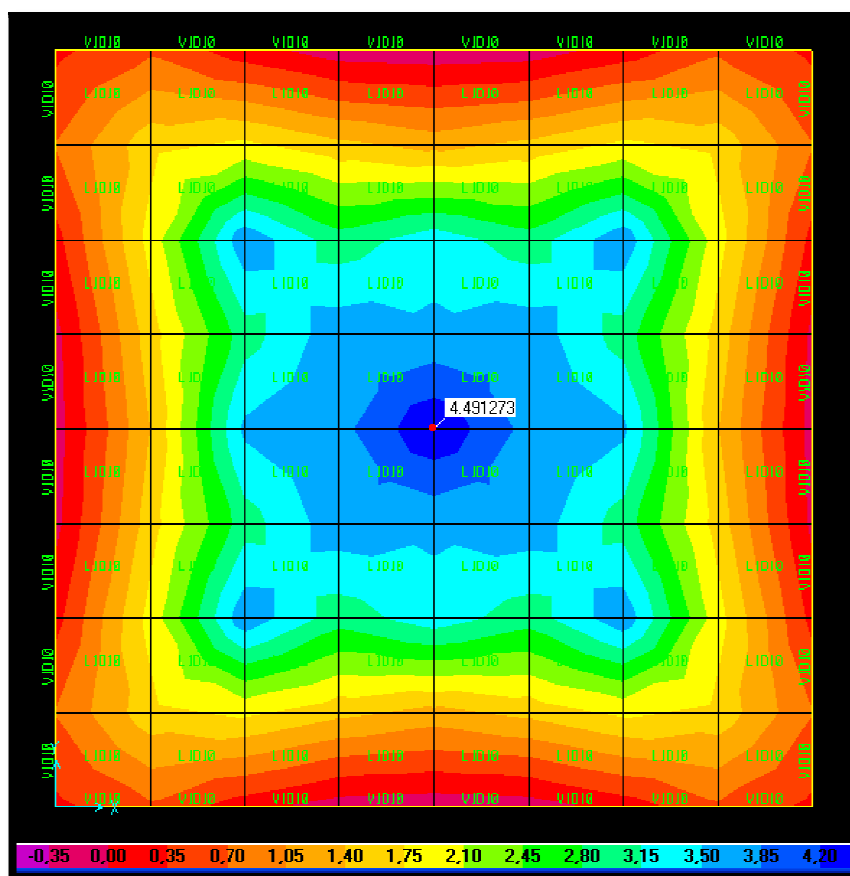
| Laje 5x5 metros                 | Níveis de Escoramento |
|---------------------------------|-----------------------|
| 4º Pavimento (recém concretado) | 100%                  |
| 3º Pavimento                    | 25%                   |
| 2º Pavimento                    | -                     |
| 1º Pavimento                    | -                     |

### 4.2.3 Laje 4x4 com ciclo construtivo de 10 dias

Seguindo os mesmos procedimentos, o terceiro modelo estrutural analisado foi o composto por quatros pavimentos de lajes de dimensões 4x4 metros, sendo os resultados obtidos mostrados nas **Tabelas 4.14 e 4.15** e nas **Figuras 4.13 e 4.14**.

Da mesma forma, os resultados obtidos para as lajes com dimensões 4x4 metros foram comparados com os parâmetros apresentados no Capítulo 3 (**Tabela 3.1**).

De acordo com esta comparação pôde-se verificar que para estas dimensões de laje com ciclo construtivo de 10 dias, é necessário apenas um nível de escoramento e nenhum nível de escoramento remanescente (**Tabela 4.5**), pois, tanto o momento máximo de 4,5 kN.m (**Figura 4.3**) quanto o deslocamento central de 0,62 cm obtidos no 3º pavimento, atendem aos valores estipulados na **Tabela 3.1**.



**FIGURA 4.3 – Momento máximo atuante no 3º pavimento com apenas um nível de escoramento para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

**TABELA 4.5 – Níveis de escoramento para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

| <b>Laje 4x4 metros</b>          | <b>Níveis de Escoramento</b> |
|---------------------------------|------------------------------|
| 4º Pavimento (recém concretado) | 100%                         |
| 3º Pavimento                    | -                            |
| 2º Pavimento                    | -                            |
| 1º Pavimento                    | -                            |

#### **4.2.4 Laje 4x6 com ciclo construtivo de 10 dias**

O quarto modelo estrutural analisado foi o composto por quatros pavimentos de lajes de dimensões 4x6 metros. Da mesma forma que o modelo de lajes 5x5 metros, foi testado também, além dos níveis de escoramento descritos como modelo padrão (**Tabela 4.1**), um modelo com um nível de escoramento de 100% para o 4º pavimento recém concretado e um nível de escoramento remanescente de 25% para o 3º pavimento (**Tabela 4.2**).

Assim, para a laje com dimensões de 4x6 metros com ciclo construtivo de 10 dias, foram encontrados os resultados mostrados nas **Tabelas 4.16-a, 4.16-b, 4.17-a e 4.17-b** e nas **Figuras 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18**.

Os resultados obtidos para as lajes 4x6 metros foram comparados com os parâmetros apresentados no Capítulo 3 (**Tabela 3.1**). De acordo com esta comparação pôde-se verificar que para estas dimensões de laje com ciclo construtivo de 10 dias, é necessário um nível de escoramento e apenas um nível de escoramento remanescente.

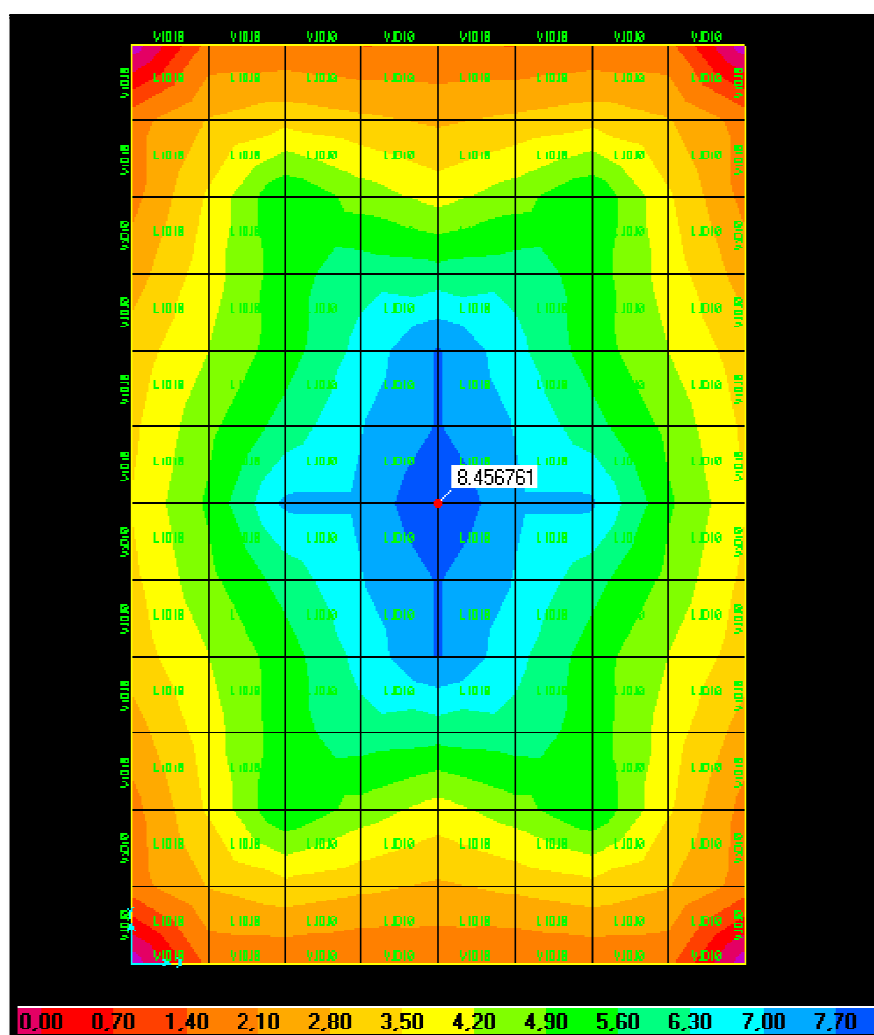
Verificou-se também que este único nível de escoramento remanescente não necessitaria da quantidade de 50% em relação ao nível escorado (**Análise 03 da Tabela 4.1**), mas apenas a quantidade de 25% (**Análise 03-b da Tabela 4.2**) para atender aos parâmetros estipulados.

O parâmetro de comparação que determinou a utilização de um nível de escoramento e apenas um nível de escoramento remanescente com 25% foi o momento máximo atuante na laje do 3º

pavimento, que foi de 8,45 kN.m (**Figura 4.4**), inferior ao limite estipulado de 9,51 kN.m na **Tabela 3.1**.

Em relação ao comparativo com o parâmetro de deslocamento central, pôde-se observar que somente com um nível de escoramento e nenhum de escoramento remanescente, o valor limite de 1,10 cm já seria atendido.

Desta forma, para este modelo, torna-se necessário o uso do 4º pavimento recém concretado com 100% de escoramento e o 3º pavimento com 25% de escoramento remanescente (**Tabela 4.6**).



**FIGURA 4.4 – Momento máximo atuante no 3º pavimento com um nível de escoramento e um de escoramento remanescente para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

**TABELA 4.6 – Níveis de escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

| <b>Laje 4x6 metros</b>          | <b>Níveis de Escoramento</b> |
|---------------------------------|------------------------------|
| 4º Pavimento (recém concretado) | 100%                         |
| 3º Pavimento                    | 25%                          |
| 2º Pavimento                    | -                            |
| 1º Pavimento                    | -                            |

#### 4.2.5 Resumo Comparativo

A seguir é apresentada uma tabela resumo com os níveis de escoramento para os modelos analisados (**Tabela 4.7**):

**TABELA 4. 7 – Níveis de escoramento para os modelos analisados com ciclos construtivos de 10 dias**

| <b>Pavimentos</b>               | <b>Níveis de Escoramento (*)</b> |                   |                   |                   |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                 | <b>Laje 6x6 m</b>                | <b>Laje 5x5 m</b> | <b>Laje 4x4 m</b> | <b>Laje 4x6 m</b> |
| 4º Pavimento (recém concretado) | 100%                             | 100%              | 100%              | 100%              |
| 3º Pavimento                    | 50%                              | 25%               | -                 | 25%               |
| 2º Pavimento                    | 25%                              | -                 | -                 | -                 |
| 1º Pavimento                    | -                                | -                 | -                 | -                 |

(\*) Os níveis de escoramento apresentados neste capítulo foram determinados com base em um modelo teórico computacional, considerando-se somente cargas verticais. A confirmação e recomendação destes níveis implicam na consideração de outros parâmetros que não foram considerados neste estudo, mas que podem interferir no comportamento da estrutura durante a fase construtiva, como por exemplo, carregamentos horizontais, carregamentos assimétricos, consideração dos efeitos da fluência e retração do concreto.



#### 4.2.6 Tabelas e Gráficos

Todas as demais tabelas e gráficos, citados neste capítulo, que contém os resultados numéricos das simulações efetuadas, estão dispostos a seguir. Em relação aos gráficos, são feitos os seguintes comentários:

- Para os gráficos “Deslocamento Central X Níveis de Escoramento”, o eixo das abscissas representa os níveis de escoramentos estudados e o eixo das ordenadas representa os deslocamentos centrais das lajes. Para os gráficos “Momento Máximo Atuante X Níveis de Escoramento”, o eixo das abscissas representa os níveis de escoramentos estudados e o eixo das ordenadas representa os momentos máximos das lajes;
- A linha vermelha tracejada representa os valores do parâmetro limite (deslocamento ou momento) definidos no Capítulo 3 na **Tabela 3.1**;
- Os valores lançados acima da linha vermelha tracejada são apresentados em caracteres vermelhos por excederem os parâmetros estabelecidos;
- Para cada análise (**Tabelas 4.1 e 4.2**) são observados simultaneamente os valores (deslocamento ou momento) obtidos em cada um dos pavimentos (1º, 2º e 3º pavimentos), de forma a compará-los com os parâmetros limite definidos;
- Quando ao menos um pavimento apresentar um valor excedido, a análise e o respectivo nível de escoramento são desconsiderados, sendo a análise imediatamente anterior (destacada pela cor amarela) considerada como a que possui a quantidade de níveis de escoramento que atende ao parâmetro limite estabelecido (deslocamento ou momento);
- Para cada dimensão de laje estudada, quando houver divergência entre os gráficos “Deslocamento Central X Níveis de Escoramento” e “Momento Máximo Atuante X Níveis de Escoramento” (diferentes níveis escoramentos necessários), será considerado a análise que possui mais níveis escorados, como por exemplo, as análises feitas para as lajes 6x6 metros (**Figuras 4.5 e 4.6**).

TABELA 4.8 – Deslocamentos centrais - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias

| Níveis de Escoramento | 1º pavimento deslocamento central (cm) | 2º pavimento deslocamento central (cm) | 3º pavimento deslocamento central (cm) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 0,2                                    | 0,3                                    | 0,3                                    |
| 100-50-25 %           | 1,3                                    | 1,4                                    | 1,4                                    |
| 100-50 %              | 1,0                                    | 1,6                                    | 1,6                                    |
| 100%                  | 1,0                                    | 1,0                                    | 2,2                                    |

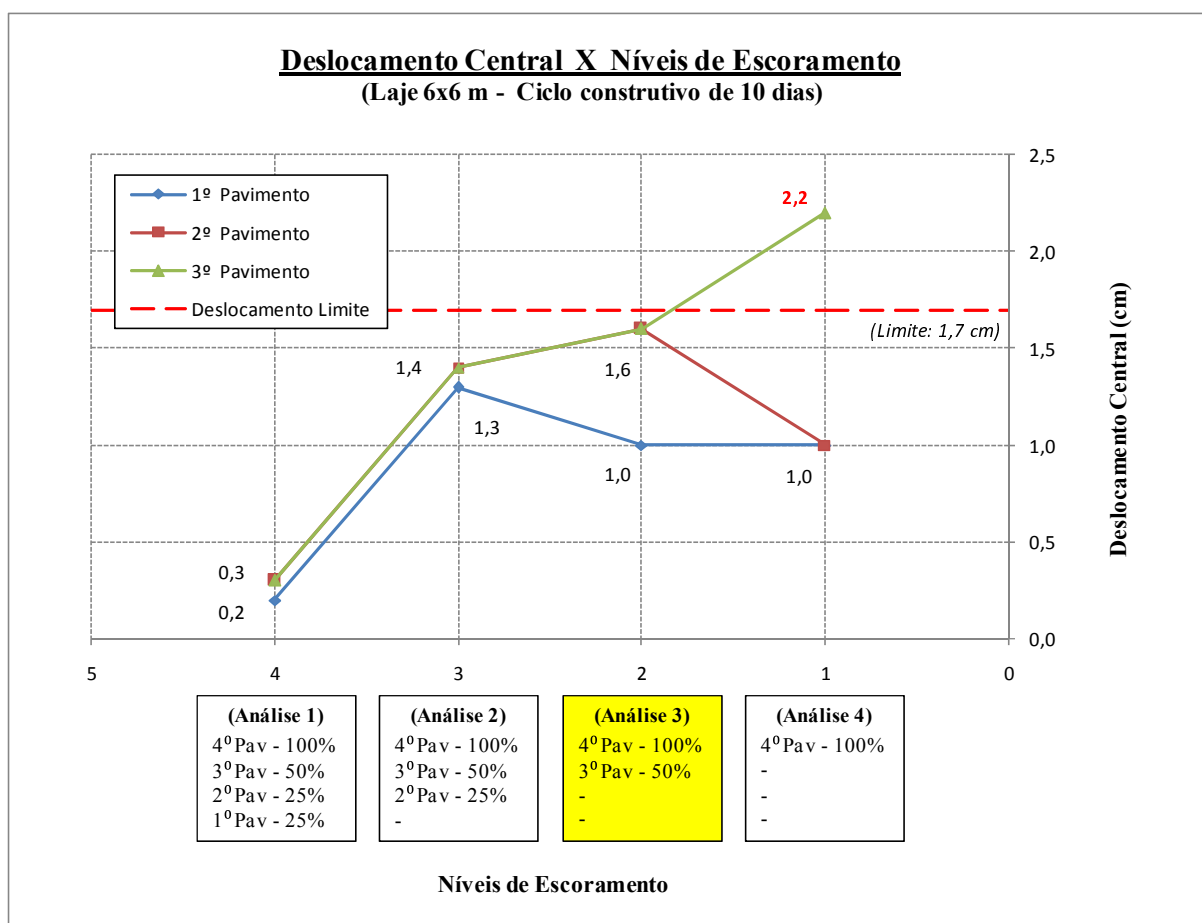
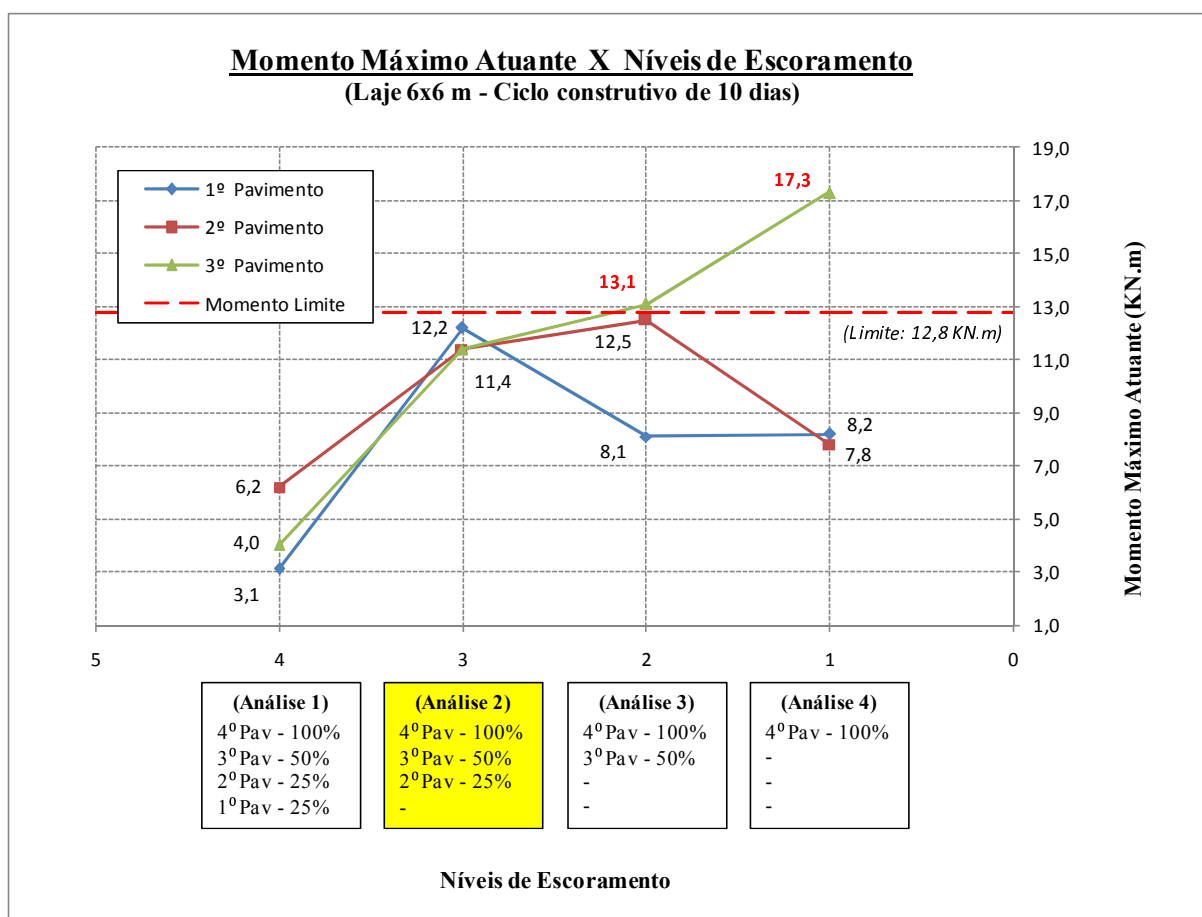


FIGURA 4.5 – Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias

**TABELA 4.9 – Momentos máximos atuantes - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

| Níveis de Escoramento | 1º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 2º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 3º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 3,1                                      | 6,2                                      | 4,0                                      |
| 100-50-25 %           | 12,2                                     | 11,4                                     | 11,4                                     |
| 100-50 %              | 8,1                                      | 12,5                                     | 13,1                                     |
| 100%                  | 8,2                                      | 7,8                                      | 17,3                                     |



**FIGURA 4.6 – Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

TABELA 4.10 – Deslocamentos centrais - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias

| Níveis de Escoramento | 1º pavimento deslocamento central (cm) | 2º pavimento deslocamento central (cm) | 3º pavimento deslocamento central (cm) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 0,1                                    | 0,2                                    | 0,2                                    |
| 100-50-25 %           | 1,3                                    | 1,3                                    | 1,4                                    |
| 100-50 %              | 1,0                                    | 1,5                                    | 1,5                                    |
| 100%                  | 1,0                                    | 0,9                                    | 2,1                                    |

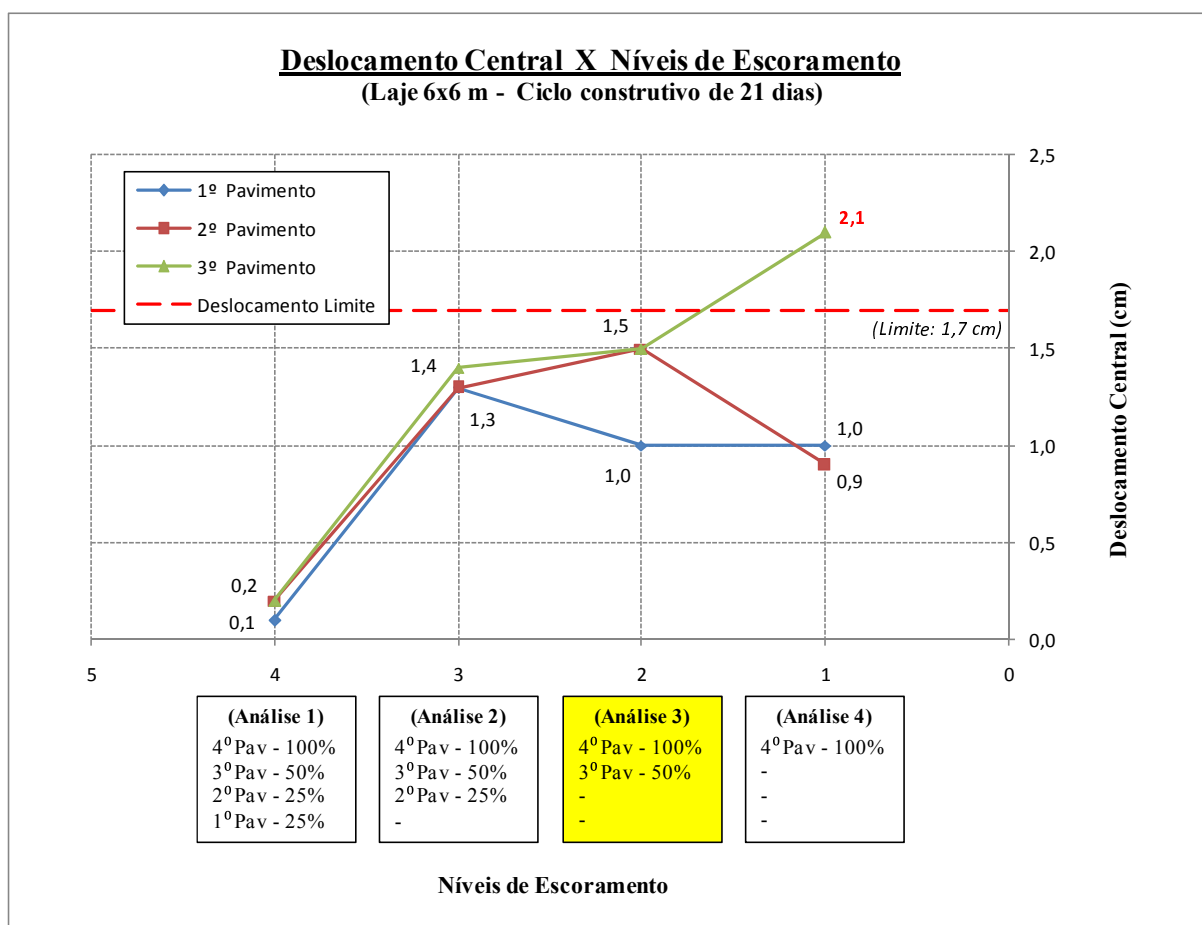
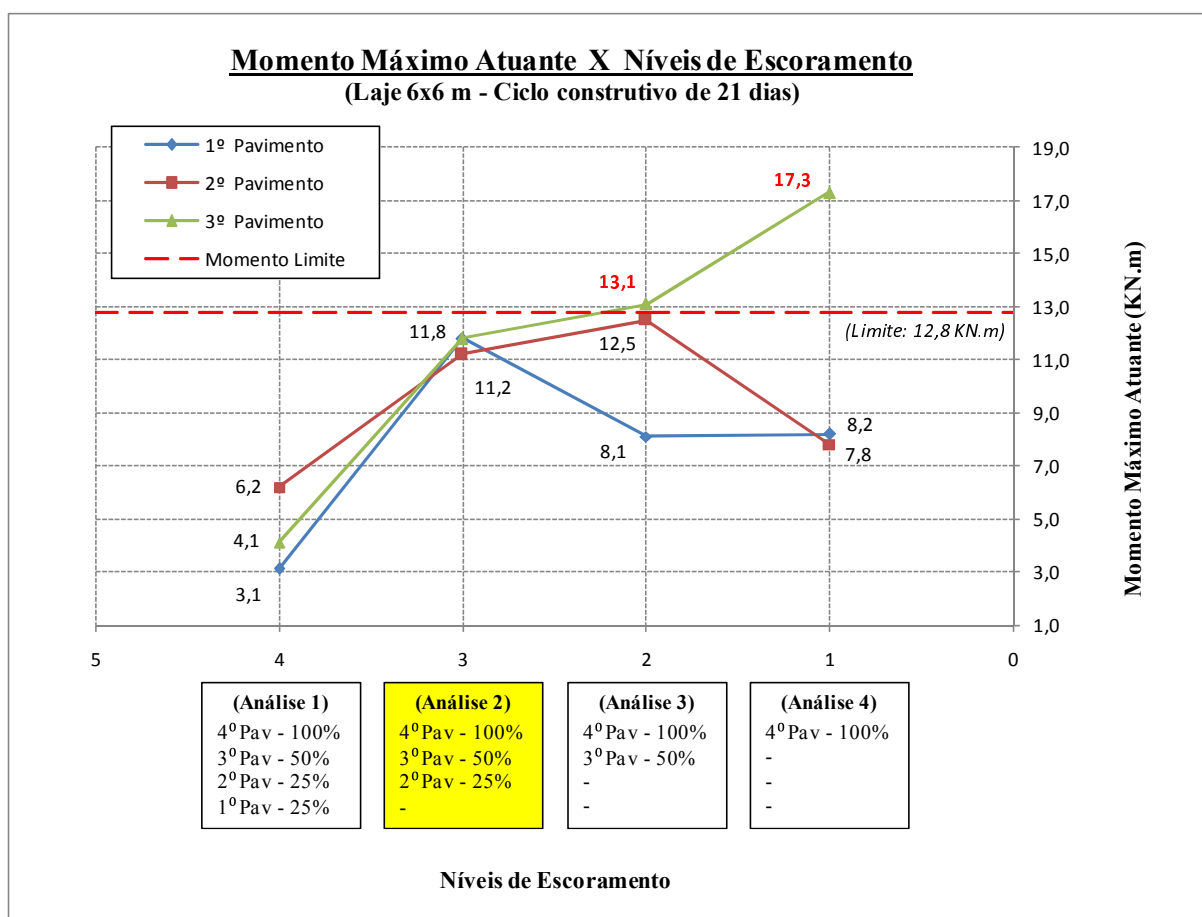


FIGURA 4.7 – Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias

**TABELA 4.11 – Momentos máximos atuantes - Lajes com 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias**

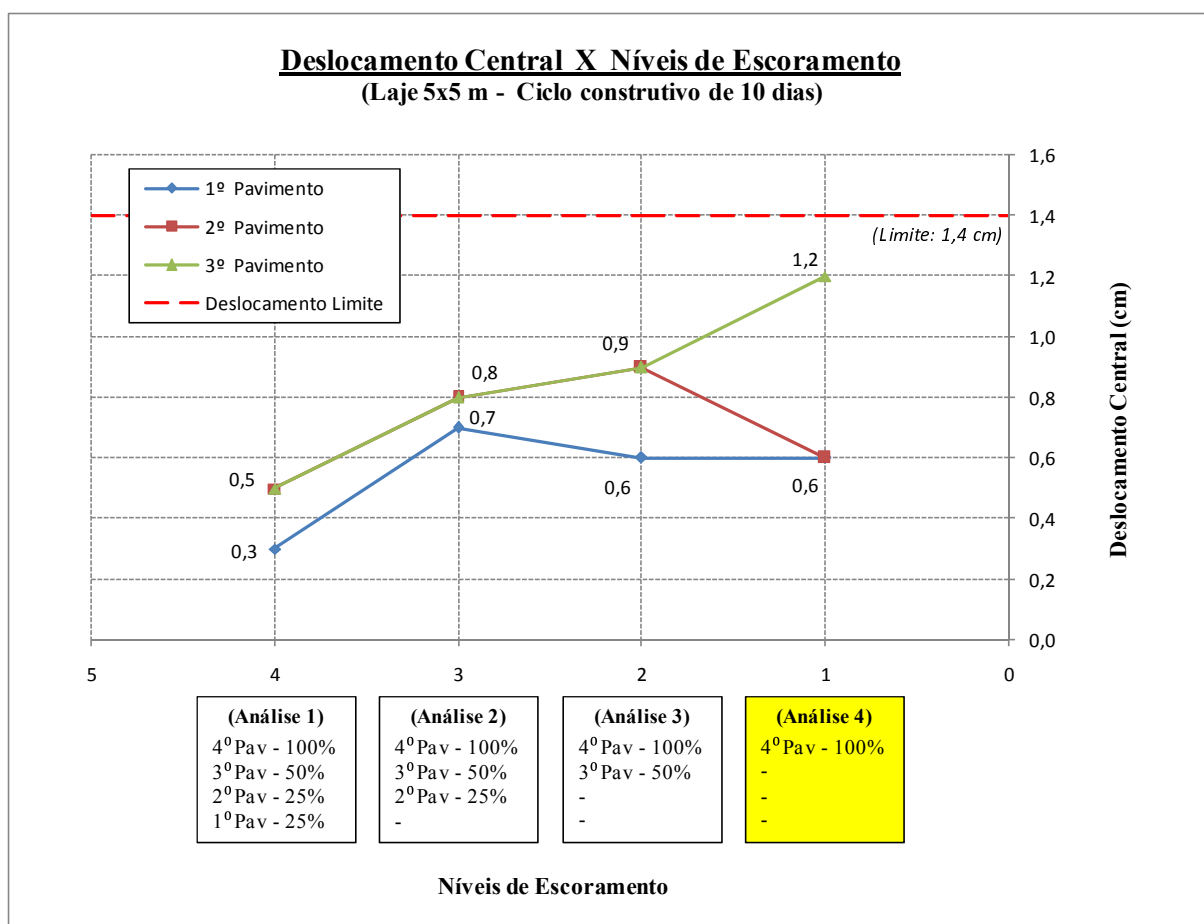
| Níveis de Escoramento | 1º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 2º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 3º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 3,1                                      | 6,2                                      | 4,1                                      |
| 100-50-25 %           | 11,8                                     | 11,2                                     | 11,8                                     |
| 100-50 %              | 8,1                                      | 12,5                                     | 13,1                                     |
| 100%                  | 8,2                                      | 7,8                                      | 17,3                                     |



**FIGURA 4.8 – Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 6x6 metros e ciclo construtivo de 21 dias**

**TABELA 4.12 a – Deslocamentos centrais - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**

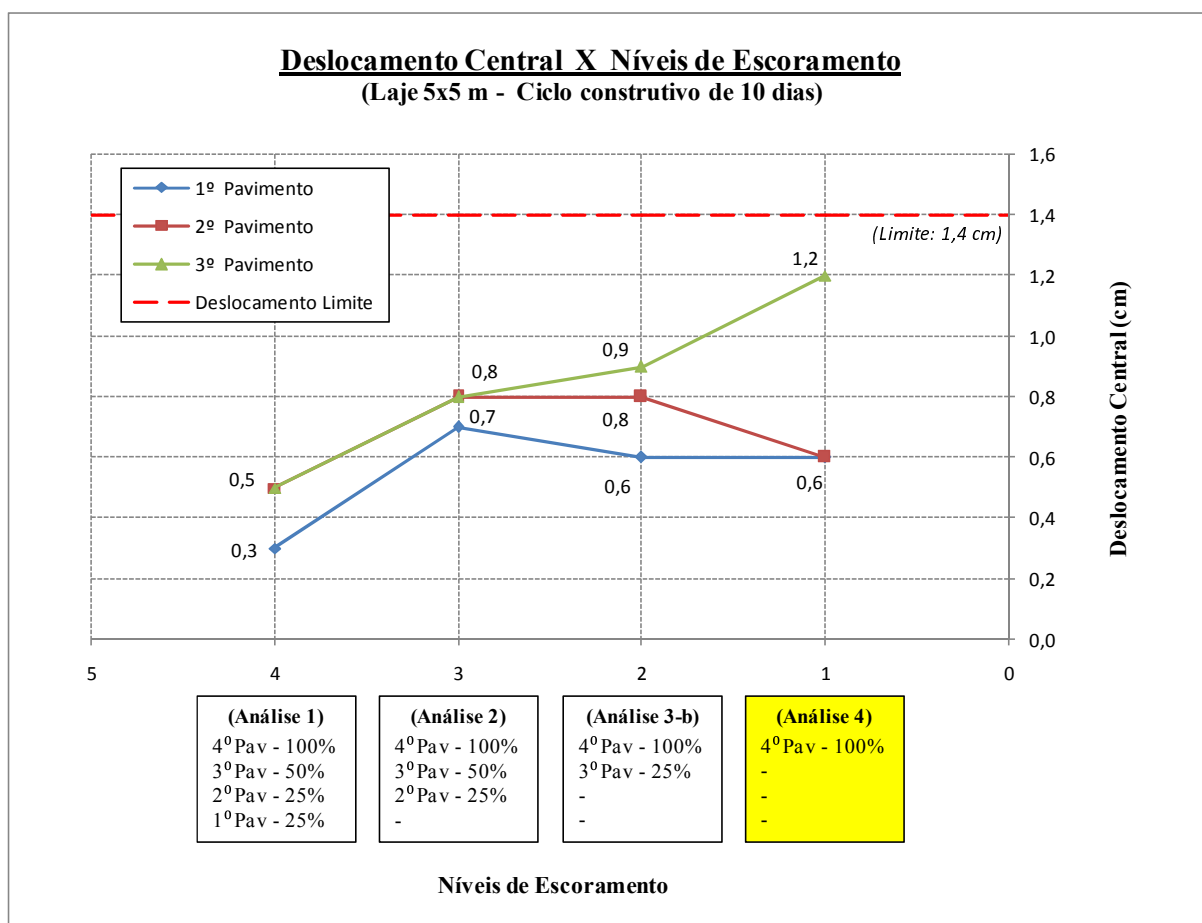
| Níveis de Escoramento | 1º pavimento deslocamento central (cm) | 2º pavimento deslocamento central (cm) | 3º pavimento deslocamento central (cm) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 0,3                                    | 0,5                                    | 0,5                                    |
| 100-50-25 %           | 0,7                                    | 0,8                                    | 0,8                                    |
| 100-50 %              | 0,6                                    | 0,9                                    | 0,9                                    |
| 100%                  | 0,6                                    | 0,6                                    | 1,2                                    |



**FIGURA 4.9 – Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**

**TABELA 4.12 b – Deslocamentos centrais - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

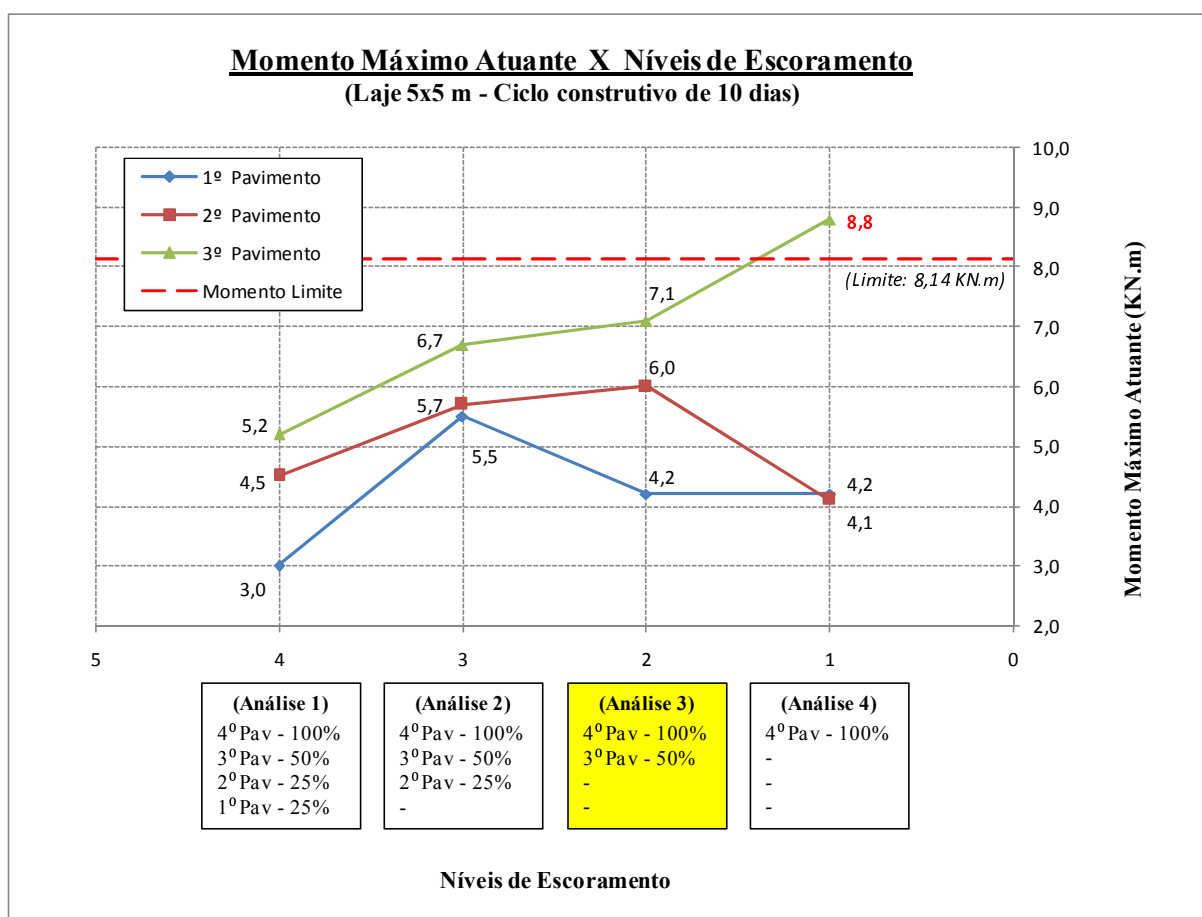
| Níveis de Escoramento | 1º pavimento deslocamento central (cm) | 2º pavimento deslocamento central (cm) | 3º pavimento deslocamento central (cm) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 0,3                                    | 0,5                                    | 0,5                                    |
| 100-50-25 %           | 0,7                                    | 0,8                                    | 0,8                                    |
| 100-25 %              | 0,6                                    | 0,8                                    | 0,9                                    |
| 100%                  | 0,6                                    | 0,6                                    | 1,2                                    |



**FIGURA 4.10 – Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

**TABELA 4.13 a – Momentos máximos atuantes - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**

| Níveis de Escoramento | 1º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) | 2º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) | 3º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) |
|-----------------------|---|---|---|
| 100-50-25-25 %        | 3,0   | 4,5   | 5,2   |
| 100-50-25 %           | 5,5   | 5,7   | 6,7   |
| 100-50 %              | 4,2   | 6,0   | 7,1   |
| 100%                  | 4,2   | 4,1   | 8,8   |

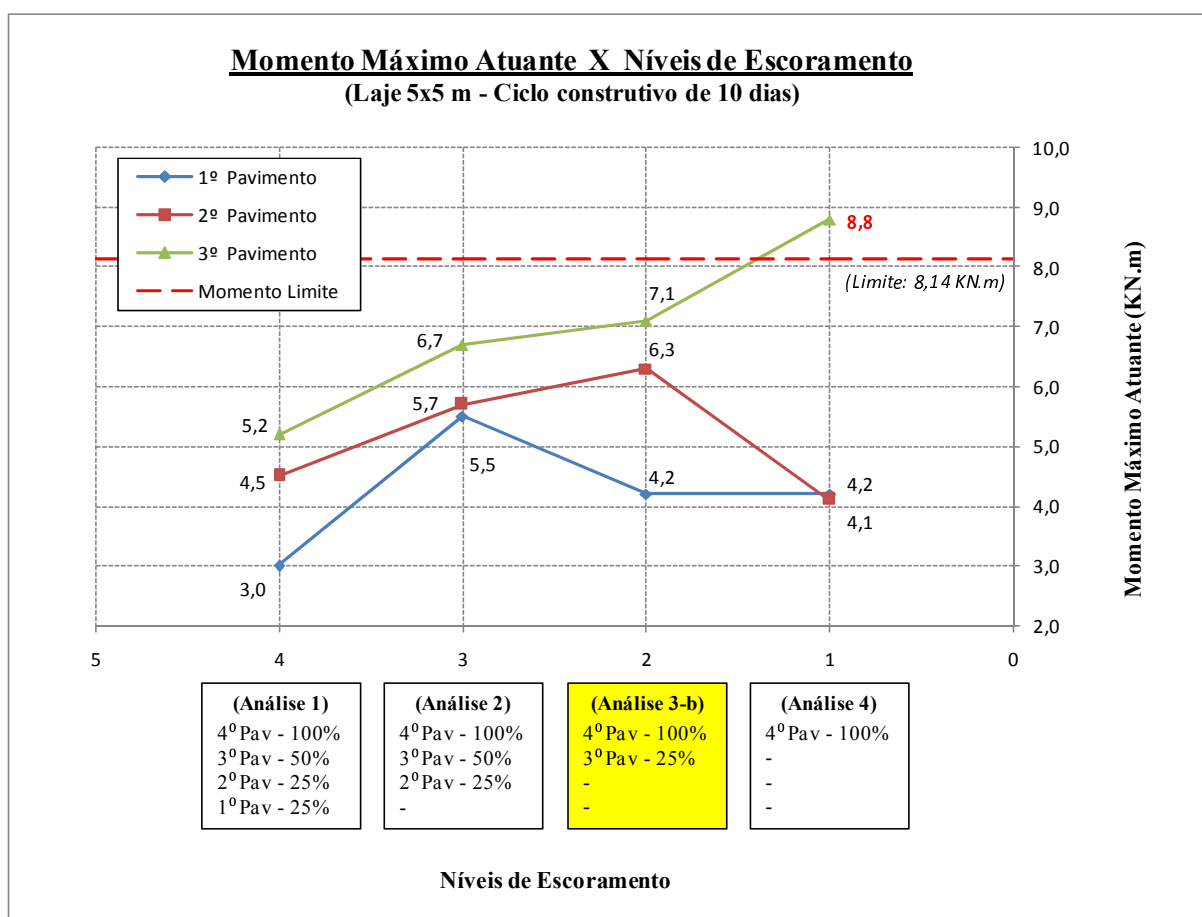


**FIGURA 4.11 – Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**



**TABELA 4.13 b – Momentos máximos atuantes - Lajes com 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

| Níveis de Escoramento | 1º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) | 2º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) | 3º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) |
|-----------------------|---|---|---|
| 100-50-25-25 %        | 3,0   | 4,5   | 5,2   |
| 100-50-25 %           | 5,5   | 5,7   | 6,7   |
| 100-25 %              | 4,2   | 6,3   | 7,1   |
| 100%                  | 4,2   | 4,1   | 8,8   |



**FIGURA 4.12 – Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 5x5 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

TABELA 4.14 – Deslocamentos centrais - Lajes com 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias

| Níveis de Escoramento | 1º pavimento deslocamento central (cm) | 2º pavimento deslocamento central (cm) | 3º pavimento deslocamento central (cm) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 0,13                                   | 0,21                                   | 0,25                                   |
| 100-50-25 %           | 0,37                                   | 0,39                                   | 0,43                                   |
| 100-50 %              | 0,29                                   | 0,44                                   | 0,48                                   |
| 100%                  | 0,29                                   | 0,29                                   | 0,62                                   |

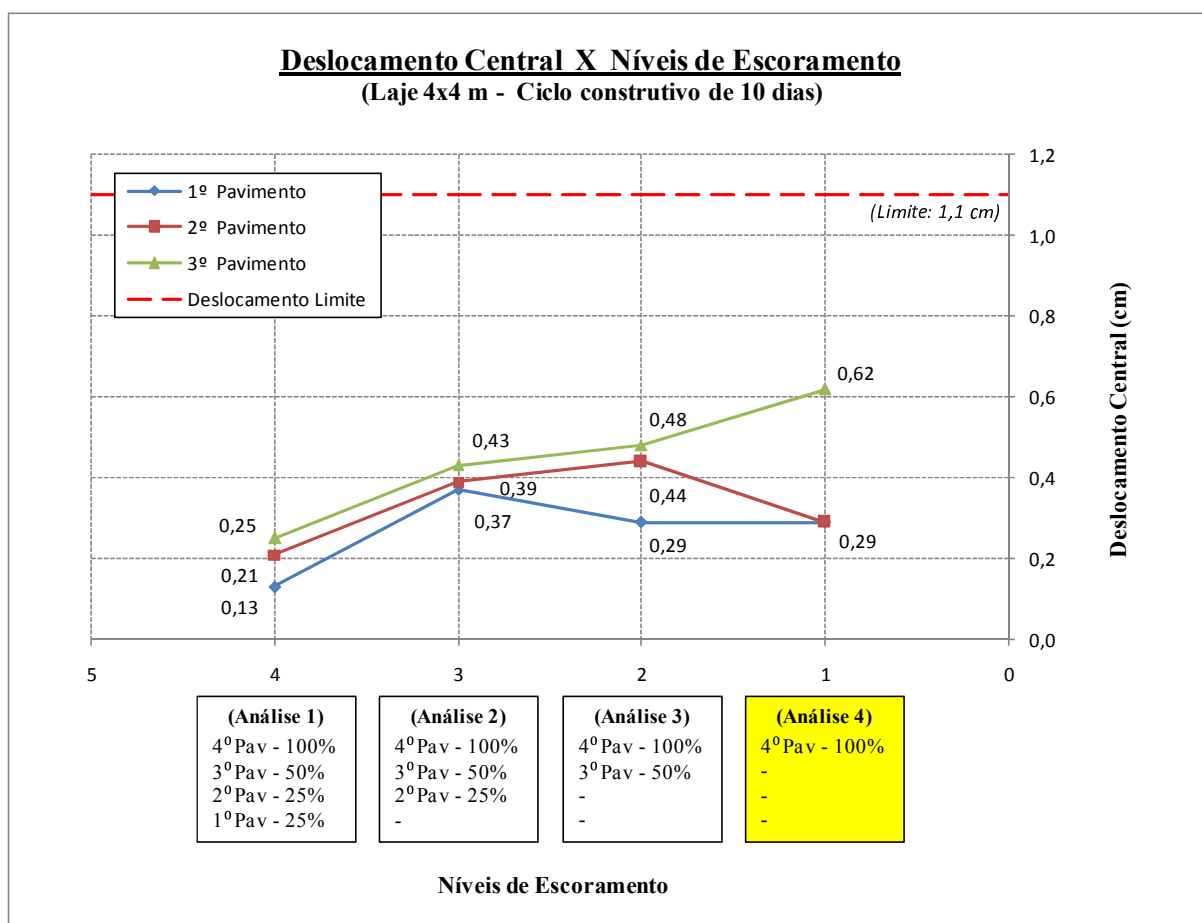
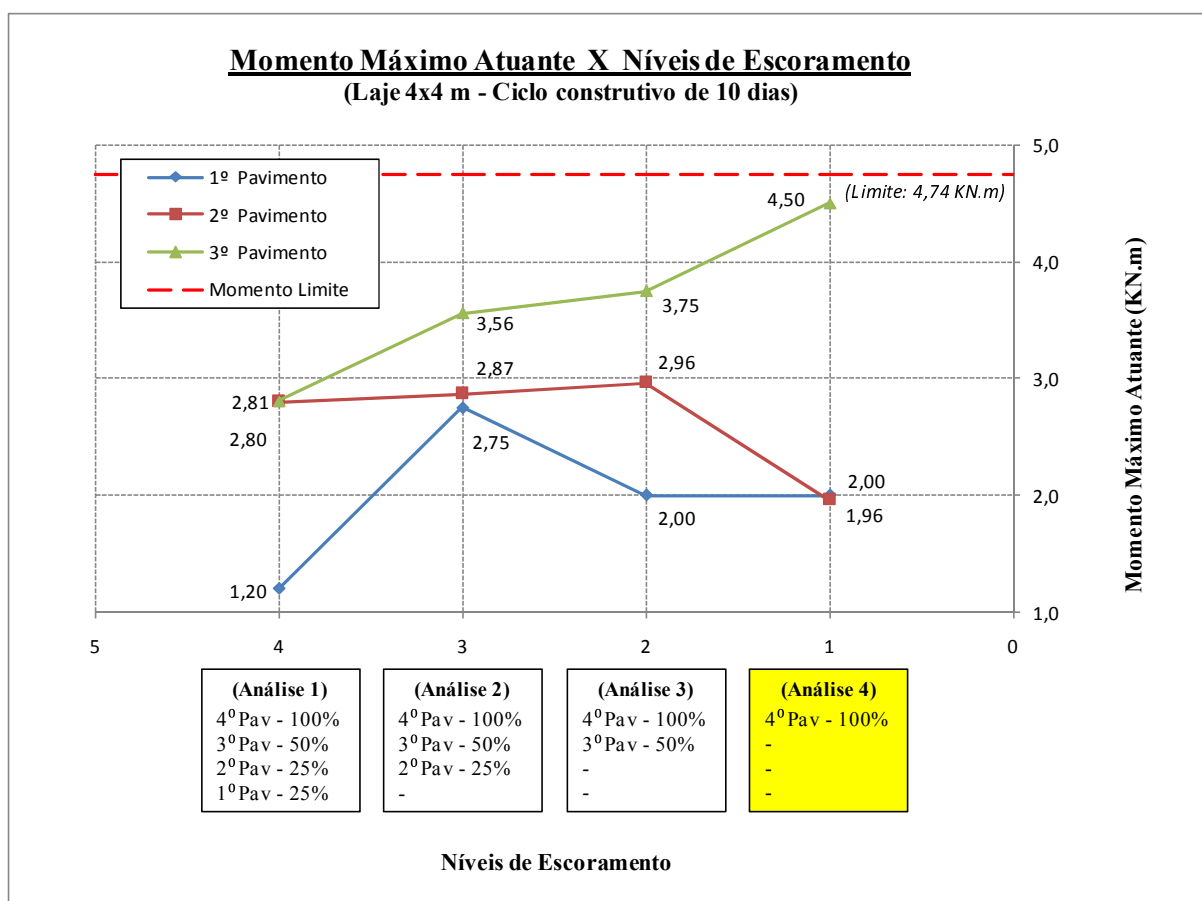


FIGURA 4.13 – Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramentos para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias

**TABELA 4.15 – Momentos máximos atuantes - Lajes com 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

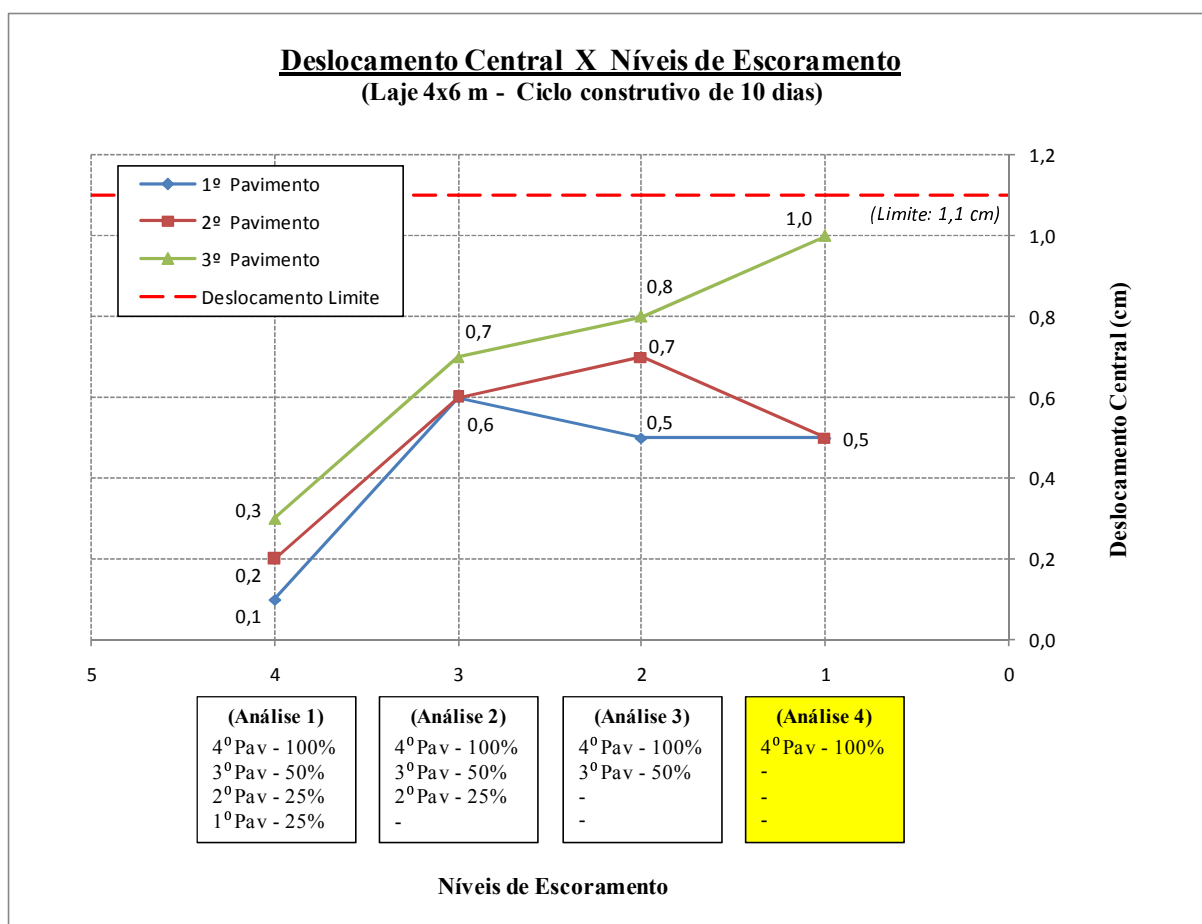
| Níveis de Escoramento | 1º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 2º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 3º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 1,20                                     | 2,80                                     | 2,81                                     |
| 100-50-25 %           | 2,75                                     | 2,87                                     | 3,56                                     |
| 100-50 %              | 2,00                                     | 2,96                                     | 3,75                                     |
| 100%                  | 2,00                                     | 1,96                                     | 4,50                                     |



**FIGURA 4.14 – Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x4 metros e ciclo construtivo de 10 dias**

**TABELA 4.16 a – Deslocamentos centrais - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**

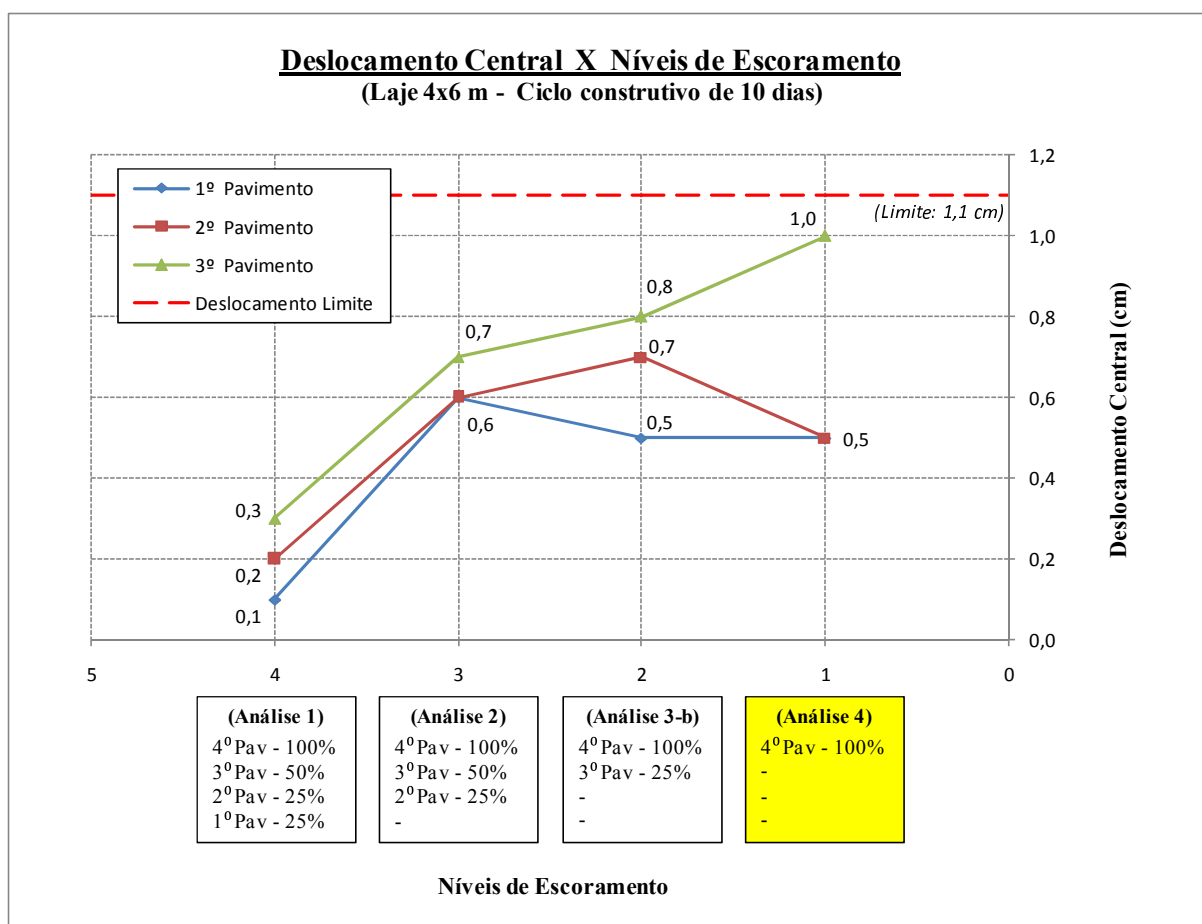
| Níveis de Escoramento | 1º pavimento deslocamento central (cm) | 2º pavimento deslocamento central (cm) | 3º pavimento deslocamento central (cm) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 0,1                                    | 0,2                                    | 0,3                                    |
| 100-50-25 %           | 0,6                                    | 0,6                                    | 0,7                                    |
| 100-50 %              | 0,5                                    | 0,7                                    | 0,8                                    |
| 100%                  | 0,5                                    | 0,5                                    | 1,0                                    |



**FIGURA 4.15 – Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**

**TABELA 4.16 b – Deslocamentos centrais - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias - 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

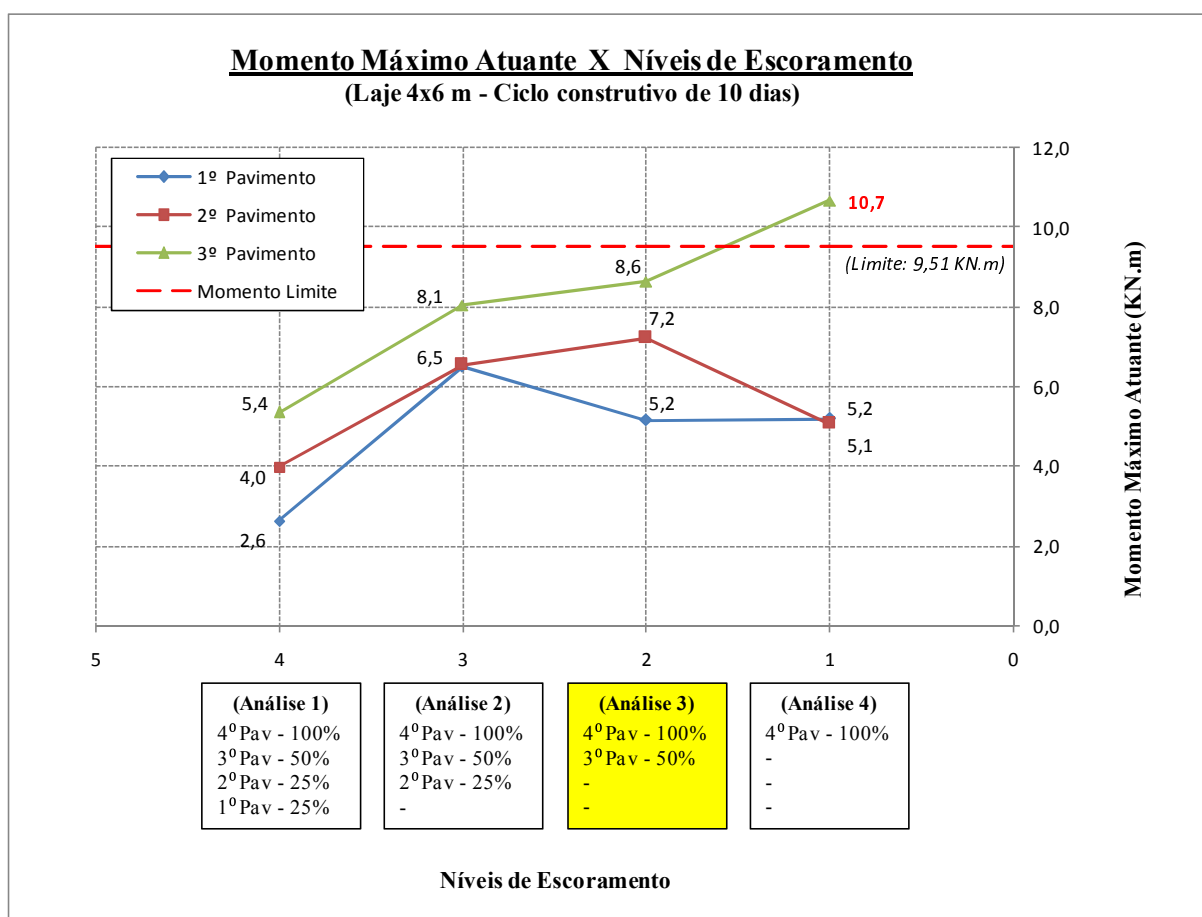
| Níveis de Escoramento/<br>Reescoramento | 1º pavimento deslocamento central (cm) | 2º pavimento deslocamento central (cm) | 3º pavimento deslocamento central (cm) |
|---|--|--|--|
| 100-50-25-25 %                          | 0,1                                    | 0,2                                    | 0,3                                    |
| 100-50-25 %                             | 0,6                                    | 0,6                                    | 0,7                                    |
| 100-25 %                                | 0,5                                    | 0,7                                    | 0,8                                    |
| 100%                                    | 0,5                                    | 0,5                                    | 1,0                                    |



**FIGURA 4.16 – Gráfico: Deslocamento Central x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

**TABELA 4.17 a – Momentos máximos atuantes - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**

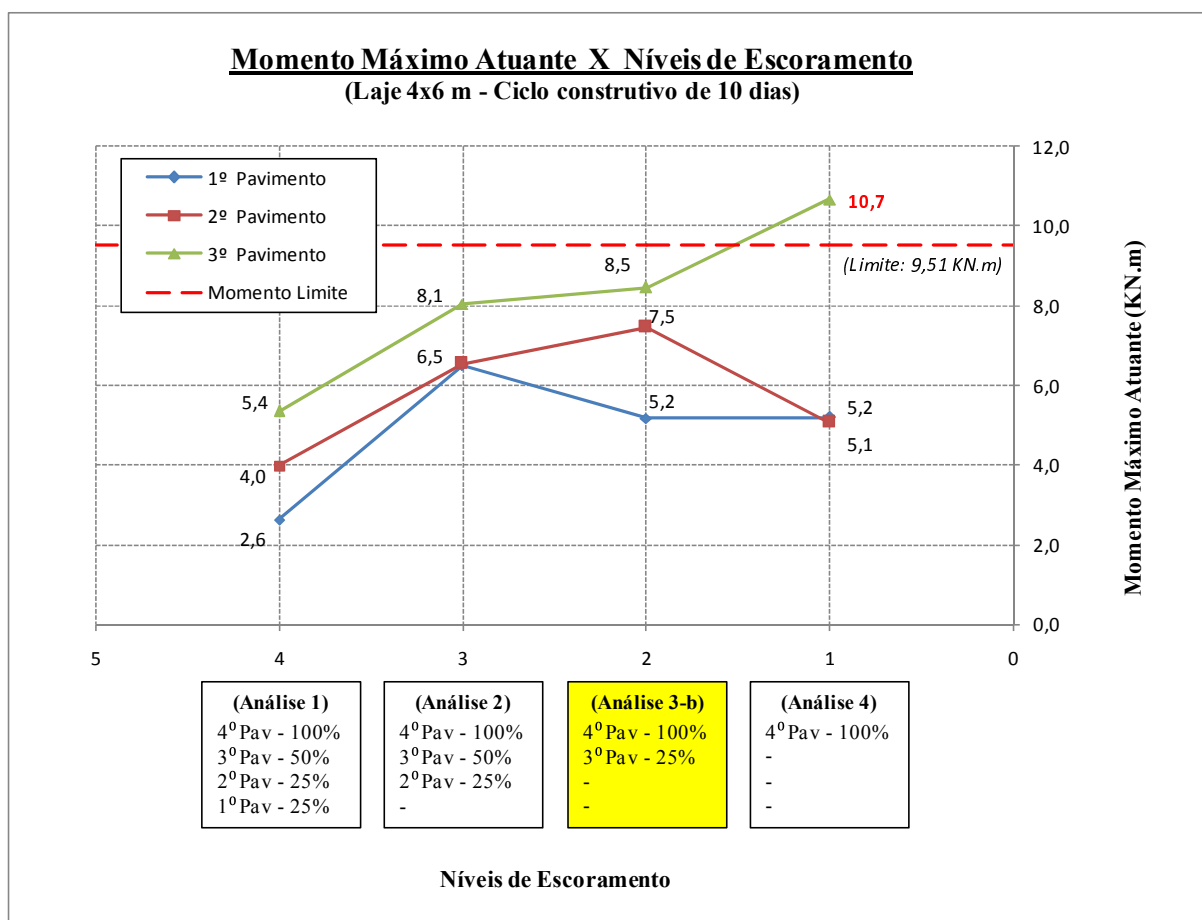
| Níveis de Escoramento | 1º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) | 2º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) | 3º pavimento<br>Momento<br>máximo<br>(kN.m) |
|-----------------------|---|---|---|
| 100-50-25-25 %        | 2,6   | 4,0   | 5,4   |
| 100-50-25 %           | 6,5   | 6,5   | 8,1   |
| 100-50 %              | 5,2   | 7,2   | 8,6   |
| 100%                  | 5,2   | 5,1   | 10,7  |



**FIGURA 4.17 – Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 50% de escoramento remanescente**

**TABELA 4.17 b – Momentos máximos atuantes - Lajes com 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

| Níveis de Escoramento | 1º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 2º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) | 3º pavimento<br>Momento máximo<br>(kN.m) |
|-----------------------|--|--|--|
| 100-50-25-25 %        | 2,6                                      | 4,0                                      | 5,4                                      |
| 100-50-25 %           | 6,5                                      | 6,5                                      | 8,1                                      |
| 100-25 %              | 5,2                                      | 7,5                                      | 8,5                                      |
| 100%                  | 5,2                                      | 5,1                                      | 10,7                                     |



**FIGURA 4.18 – Gráfico: Momento Máximo Atuante x Níveis de Escoramento para lajes de dimensões 4x6 metros e ciclo construtivo de 10 dias – 3º Pavimento com 25% de escoramento remanescente**

## **Capítulo 5: CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS**

---



## 5.1 CONCLUSÕES

Foram apresentados modelos estruturais baseados na prática corrente das obras de edifícios executadas atualmente. Através destes modelos foram testadas várias situações de escoramentos e verificadas as quantidades mais eficientes de escoras para diversas dimensões de lajes, considerando as cargas construtivas verticais na edificação. A análise de toda a estrutura foi obtida a partir dos processamentos dos modelos no programa estrutural comercial SAP 2000 – Versão 11, que utiliza o Método dos Elementos Finitos. Após os diversos processamentos executados para os vários modelos propostos pode-se concluir que:

Pode ser possível reduzir a quantidade de escoras utilizadas na prática corrente de obras, e esta redução varia de acordo com as dimensões das lajes, dentro das condições estudadas.

Os sistemas de escoramentos e reescoramentos aplicados na prática corrente de obras de edifícios são utilizados de forma conservadora, para as dimensões de lajes e ciclos construtivos estudados, levando-se em conta os parâmetros adotados neste trabalho.

Para todas as dimensões de lajes estudadas, em concreto moldado “in loco” com escoramento metálico, a determinação da quantidade de níveis de escoramento foi obtida em função do parâmetro de momento máximo e não do parâmetro de deslocamento máximo.

Verificou-se que a quantidade e disposição das escoras interferem nos momentos atuantes nas lajes em fase de construção, e que em lajes de dimensões menores esta influência é mais significativa devido ao número reduzido de escoras necessárias.

Para as estruturas estudadas neste trabalho, foi observado que os ciclos construtivos médios de 10 dias são adequados e que um aumento neste intervalo de execução não trará benefícios significativos, com relação aos momentos fletores e flechas nas lajes.

Para o modelo analisado com lajes de dimensões 6x6 metros, moldadas “in loco”, simplesmente apoiadas, com escoramento metálico e ciclo construtivo de 10 dias constatou-se que as quantidades de escoramentos podem ser: o pavimento recém concretado com 100% de

escoramento e dois níveis abaixo escorados, com 50% e 25% de escoramento remanescente respectivamente.

Para o modelo analisado com lajes de dimensões 5x5 metros, moldadas “in loco”, simplesmente apoiadas, com escoramento metálico e ciclo construtivo de 10 dias verificou-se a necessidade de apenas o pavimento recém concretado com 100% de escoramento e um nível abaixo escorado com 25% de escoramento remanescente.

Para o modelo analisado com lajes de dimensões 4x4 metros, moldadas “in loco”, simplesmente apoiadas, com escoramento metálico e ciclo construtivo de 10 dias foi verificado que em termos de quantidades de escoramento pode-se ter apenas o pavimento recém concretado com 100% de escoramento, e não há necessidade de mais nenhum nível escorado.

Para o modelo analisado com lajes de dimensões 4x6 metros, moldadas “in loco”, simplesmente apoiadas, com escoramento metálico e ciclo construtivo de 10 dias foi verificado que em termos de quantidades de escoramento pode-se ter o pavimento recém concretado com 100% de escoramento e um nível abaixo escorado com 25% de escoramento remanescente.

Os níveis de escoramento foram determinados com base em um modelo teórico computacional, considerando-se somente cargas verticais. A confirmação e recomendação destes níveis implicam na consideração de outros parâmetros que não foram abordados neste estudo, mas que podem interferir no comportamento da estrutura durante a fase construtiva, como por exemplo, carregamentos horizontais, carregamentos assimétricos e consideração dos efeitos da fluência e retração do concreto.

## **5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS**

Como perspectivas para trabalhos futuros, que irão dar prosseguimento ao estudo realizado nesta dissertação, pode-se citar:

- Consideração no modelo do efeito da fluência e retração do concreto;
- Consideração no modelo de cargas horizontais, como por exemplo, os efeitos do vento;
- Consideração no modelo de cargas devido a impactos e vibrações;
- Verificação de situações reais, através de ensaios instrumentados, dos valores de deformação máxima central das lajes;
- Desenvolvimento do modelo proposto para lajes contínuas;
- Desenvolvimento de um estudo comparativo de quantidade de escoras, entre um projeto de escoramento com a quantidade usual e um projeto com as quantidades obtidas neste trabalho;
- Consideração no modelo de escoras em madeira, em substituição as escoras em aço utilizadas neste estudo;
- Desenvolvimento deste modelo com outros tipos de lajes, como nervuradas ou protendidas;
- Análises de comportamentos de fissuras prematuras decorrentes de retiradas precoces de escoramentos e reescoramentos;
- Desenvolvimento do modelo para análise de níveis de escoramentos e reescoramentos para vigas.

## **REFERÊNCIAS:**

---

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**: NBR 6118. Rio de Janeiro, 2003.

\_. **Cargas para cálculo de estruturas de edificações**: NBR 6120. Rio de Janeiro, 1980.

\_. **Projeto de estruturas de madeira**: NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997.

\_. **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação**: NBR 7480. Rio de Janeiro, 2007.

\_. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**: NBR 8800. Rio de Janeiro, 2008.

\_. **Chapas de madeira compensada**: NBR 9532. Rio de Janeiro, 1986.

\_. **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**: NBR 15696. Rio de Janeiro, 2009.

CHOI, Chang-Koon, KIM, E-Doo. **Multistory frames under sequential gravity loads**. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.111, n.11, p.2373-2384, nov. 1985.

EPAARACHCHI, Deepthi C. at al. **Structural Reliability of Multistory Buildings during Construction**. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.128, n.2, p.205-213, fev. 2002.

FAJERSZTAJN, Hermes. **Fôrmas para concreto armado**: aplicação para o caso do edifício. 1992. 247 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo.

GORZA, Leonardo Santos. **Análise incremental construtiva de edifícios metálicos de andares múltiplos usando o método dos elementos finitos**. 2000. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal do Espírito Santo.

- KUPERMAN, Selmo Chapira. **Considerações sobre fluência de concretos**. Revista Técnica, São Paulo, Ed.125, 2007.
- MARANHÃO, George Magalhães. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97**. 2000. 184 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MOLITERNO, Antônio. **Escoramentos, cimbramentos, fôrmas para concreto e travessias em estruturas de madeira**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1989. 379 p.
- NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**. 2. Ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. 828 p.
- NAZAR, Nilton. **Fôrmas e escoramentos para edifícios: Critérios para dimensionamento e escolha do sistema**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2007. 173 p.
- PETRUCCI, Eládio Gerardo Requião. **Concreto de cimento Portland**. 7. Ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1980. 307 p.
- PRADO, J.F.M.A. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. 1999. 184p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PRADO, J.F.M.A, CORRÊA, M.R.S. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n.19, p.51-79, 2002.
- PFEIL, Walter. **Cimbramentos**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 1987. 431 p.
- RODRIGUES, Sandoval José Junior. **Ações de construção em lajes de concreto armado**. 1996. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SH FÔRMAS. **Manual de fôrmas para concreto e escoramentos metálicos**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2008. 287 p.

SOUSA, Edgard Juni, PAIVA, João Batista. **Um aplicativo para o ambiente Windows para aquisição de dados para análise de pavimentos de edifícios via Método dos Elementos Finitos**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n.16, p.1-37, 1999.

WHAI-FAH, Chen at al. **Construction load analysis for concrete structures**. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.111, n.5, p.1019-1036, maio. 1985.

## **Anexo A: TABELAS DE ENTRADA DE DADOS**

---



A seguir são mostradas algumas tabelas do programa computacional utilizado, de forma a ilustrar sua entrada de dados, neste caso, os dados de entrada do modelo 6x6 metros.

**Table: Analysis Case Definitions, Part 1 of 2**

| Case<br>Text | Type<br>Text | InitialCond<br>Text | ModalCase<br>Text | RunCase<br>Yes/No | GUID<br>Text |
|--------------|--------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| DEAD         | LinStatic    | Zero                |                   | Yes               |              |
| MODAL        | LinModal     | Zero                |                   | Yes               |              |
| SC           | LinStatic    | Zero                |                   | Yes               |              |

**Table: Analysis Case Definitions, Part 2 of 2**

| Case<br>Text | Notes<br>Text |
|--------------|---------------|
| DEAD         |               |
| MODAL        |               |
| SC           |               |

**Table: Area Loads - Uniform**

| Area<br>Text | LoadCase<br>Text | CoordSys<br>Text | Dir<br>Text | UnifLoad<br>KN/m2 |
|--------------|------------------|------------------|-------------|-------------------|
| 73           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 73           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 74           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 74           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 75           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 75           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 76           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 76           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 77           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 77           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 78           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 78           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 79           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 79           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 80           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 80           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 81           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 81           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 82           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 82           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 83           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 83           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 84           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 84           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 85           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 85           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 86           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 86           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 87           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 87           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |
| 88           | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 88           | DEAD             | GLOBAL           | Gravity     | 3,00              |

| Area | LoadCase | CoordSys | Dir     | UnifLoad |
|------|----------|----------|---------|----------|
| Text | Text     | Text     | Text    | KN/m2    |
| 89   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 89   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 90   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 90   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 91   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 91   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 92   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 92   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 93   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 93   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 94   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 94   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 95   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 95   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 96   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 96   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 97   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 97   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 98   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 98   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 99   | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 99   | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 100  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 100  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 101  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 101  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 102  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 102  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 103  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 103  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 104  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 104  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 105  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 105  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 106  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 106  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 107  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 107  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 108  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 108  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 109  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 109  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 110  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 110  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 111  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 111  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 112  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 112  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 113  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 113  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 114  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 114  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 115  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 115  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 116  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 116  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 117  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 117  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 118  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |

| Area | LoadCase | CoordSys | Dir     | UnifLoad |
|------|----------|----------|---------|----------|
| Text | Text     | Text     | Text    | KN/m2    |
| 118  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 119  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 119  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 120  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 120  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 121  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 121  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 122  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 122  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 123  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 123  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 124  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 124  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 125  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 125  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 126  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 126  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 127  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 127  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 128  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 128  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 129  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 129  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 130  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 130  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 131  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 131  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 132  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 132  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 133  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 133  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 134  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 134  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 135  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 135  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 136  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 136  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 137  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 137  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 138  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 138  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 139  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 139  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 140  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 140  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 141  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 141  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 142  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 142  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 143  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 143  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 144  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 144  | DEAD     | GLOBAL   | Gravity | 3,00     |
| 145  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 146  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 147  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 166  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 168  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |
| 169  | SC       | GLOBAL   | Gravity | 2,00     |

| Area<br>Text | LoadCase<br>Text | CoordSys<br>Text | Dir<br>Text | UnifLoad<br>KN/m2 |
|--------------|------------------|------------------|-------------|-------------------|
| 170          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 171          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 172          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 173          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 174          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 175          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 176          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 177          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 178          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 179          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 180          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| .            | .                | .                | .           | .                 |
| .            | .                | .                | .           | .                 |
| .            | .                | .                | .           | .                 |
| .            | .                | .                | .           | .                 |
| 863          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 864          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 865          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |
| 866          | SC               | GLOBAL           | Gravity     | 2,00              |

Table: Area Section Properties, Part 1 of 4

| Section<br>Text | Material<br>Text | MatAngle<br>Degrees | AreaType<br>Text | Type<br>Text | Thickness<br>m | BendThick<br>m | Arc<br>Degrees | InComp<br>Yes/No |
|-----------------|------------------|---------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| FORMA           | COMPENSA<br>DO   | 0,000               | Shell            | Shell-Thin   | 0,018000       | 0,018000       |                |                  |
| L1D10           | C25 10DIAS       | 0,000               | Shell            | Shell-Thin   | 0,120000       | 0,120000       |                |                  |
| L1D20           | C25 20 DIAS      | 0,000               | Shell            | Shell-Thin   | 0,120000       | 0,120000       |                |                  |
| L1D28           | C25 28DIAS       | 0,000               | Shell            | Shell-Thin   | 0,120000       | 0,120000       |                |                  |

Table: Area Section Properties, Part 2 of 4

| Section<br>Text | CoordSys<br>Text | Color<br>Text | TotalWt<br>KN | TotalMass<br>KN-s2/m | F11Mod<br>Unitless | F22Mod<br>Unitless | F12Mod<br>Unitless |
|-----------------|------------------|---------------|---------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| FORMA           |                  | Green         | 3,758         | 0,38                 | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           |
| L1D10           |                  | Green         | 108,000       | 11,01                | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           |
| L1D20           |                  | Green         | 108,000       | 11,01                | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           |
| L1D28           |                  | Green         | 108,000       | 11,01                | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           |

Table: Area Section Properties, Part 3 of 4

| Section<br>Text | M11Mod<br>Unitless | M22Mod<br>Unitless | M12Mod<br>Unitless | V13Mod<br>Unitless | V23Mod<br>Unitless | MMod<br>Unitless | WMod<br>Unitless |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| FORMA           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000         | 1,000000         |
| L1D10           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000         | 1,000000         |
| L1D20           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000         | 1,000000         |
| L1D28           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000           | 1,000000         | 1,000000         |

Table: Area Section Properties, Part 4 of 4

| Section<br>Text | GUID<br>Text | Notes<br>Text            |
|-----------------|--------------|--------------------------|
| FORMA           |              | Added 21/5/2009 21:03:26 |
| L1D10           |              | Added 21/5/2009 20:54:13 |

| Section<br>Text | GUID<br>Text | Notes<br>Text            |
|-----------------|--------------|--------------------------|
| L1D20           |              | Added 21/5/2009 21:02:17 |
| L1D28           |              | Added 21/5/2009 21:02:57 |

Table: Area Section Property Design Parameters

| Section<br>Text | RebarMat<br>Text | RebarOpt<br>Text | CoverTop1<br>m | CoverTop2<br>m |
|-----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| FORMA           | None             | Default          |                |                |
| L1D10           | CA50             | One Layer        | 0,090000       | 0,090000       |
| L1D20           | CA50             | One Layer        | 0,090000       | 0,090000       |
| L1D28           | CA50             | One Layer        | 0,090000       | 0,090000       |

Table: Case - Static 1 - Load Assignments

| Case<br>Text | LoadType<br>Text | LoadName<br>Text | LoadSF<br>Unitless |
|--------------|------------------|------------------|--------------------|
| DEAD         | Load case        | DEAD             | 1,000000           |
| SC           | Load case        | SC               | 1,000000           |

Table: Combination Definitions, Part 1 of 3

| ComboName<br>Text | ComboType<br>Text | AutoDesign<br>Yes/No | CaseType<br>Text | CaseName<br>Text | ScaleFactor<br>Unitless | SteelDesign<br>Yes/No |
|-------------------|-------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|
| COMB1             | Linear Add        | No                   | Linear Static    | DEAD             | 1,000000                | No                    |
| COMB2             | Linear Add        | No                   | Linear Static    | DEAD             | 1,000000                | No                    |
| COMB2             |                   |                      | Linear Static    | SC               | 1,000000                |                       |

Table: Combination Definitions, Part 2 of 3

| ComboName<br>Text | CaseName<br>Text | ConcDesign<br>Yes/No | AlumDesign<br>Yes/No | ColdDesign<br>Yes/No | GUID<br>Text |
|-------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| COMB1             | DEAD             | No                   | No                   | No                   |              |
| COMB2             | DEAD             | No                   | No                   | No                   |              |
| COMB2             | SC               |                      |                      |                      |              |

Table: Combination Definitions, Part 3 of 3

| ComboName<br>Text | CaseName<br>Text | Notes<br>Text |
|-------------------|------------------|---------------|
| COMB1             | DEAD             |               |
| COMB2             | DEAD             |               |
| COMB2             | SC               |               |

Table: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 6

| SectionName<br>Text | Material<br>Text | Shape<br>Text | t3<br>m  | t2<br>m  | tw<br>m  | Area<br>m2 |
|---------------------|------------------|---------------|----------|----------|----------|------------|
| B1                  | MADEIRA          | SD Section    |          |          |          | 0,005625   |
| B2                  | MADEIRA          | SD Section    |          |          |          | 0,003750   |
| E1                  | SAE 1020         | Pipe          | 0,048000 |          | 0,006000 | 0,000792   |
| P1D10               | C25 10DIAS       | Rectangular   | 0,300000 | 0,200000 |          | 0,060000   |
| P1D20               | C25 20 DIAS      | Rectangular   | 0,300000 | 0,200000 |          | 0,060000   |
| P1D28               | C25 28DIAS       | Rectangular   | 0,300000 | 0,200000 |          | 0,060000   |

| SectionName<br>Text | Material<br>Text | Shape<br>Text | t3<br>m  | t2<br>m  | tw<br>m | Area<br>m2 |
|---------------------|------------------|---------------|----------|----------|---------|------------|
| V1D10               | C25 10DIAS       | Rectangular   | 0,500000 | 0,150000 |         | 0,075000   |
| V1D20               | C25 20 DIAS      | Rectangular   | 0,500000 | 0,150000 |         | 0,075000   |
| V1D28               | C25 28DIAS       | Rectangular   | 0,500000 | 0,150000 |         | 0,075000   |

Table: Frame Section Properties 01 - General, Part 2 of 6

| SectionName<br>Text | TorsConst<br>m4 | I33<br>m4 | I22<br>m4 | AS2<br>m2 | AS3<br>m2 | S33<br>m3 | S22<br>m3 |
|---------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| B1                  | 4,487E-06       | 2,637E-06 | 2,637E-06 | 0,004688  | 0,004688  | 0,000070  | 0,000070  |
| B2                  | 7,030E-07       | 7,031E-06 | 1,953E-07 | 0,003125  | 0,003125  | 0,000094  | 0,000016  |
| E1                  | 3,563E-07       | 1,781E-07 | 1,781E-07 | 0,000401  | 0,000401  | 7,422E-06 | 7,422E-06 |
| P1D10               | 0,000470        | 0,000450  | 0,000200  | 0,050000  | 0,050000  | 0,003000  | 0,002000  |
| P1D20               | 0,000470        | 0,000450  | 0,000200  | 0,050000  | 0,050000  | 0,003000  | 0,002000  |
| P1D28               | 0,000470        | 0,000450  | 0,000200  | 0,050000  | 0,050000  | 0,003000  | 0,002000  |
| V1D10               | 0,000456        | 0,001563  | 0,000141  | 0,062500  | 0,062500  | 0,006250  | 0,001875  |
| V1D20               | 0,000456        | 0,001563  | 0,000141  | 0,062500  | 0,062500  | 0,006250  | 0,001875  |
| V1D28               | 0,000456        | 0,001563  | 0,000141  | 0,062500  | 0,062500  | 0,006250  | 0,001875  |

Table: Frame Section Properties 01 - General, Part 3 of 6

| SectionName<br>Text | Z33<br>m3 | Z22<br>m3 | R33<br>m | R22<br>m | ConcCol<br>Yes/No | ConcBeam<br>Yes/No | Color<br>Text |
|---------------------|-----------|-----------|----------|----------|-------------------|--------------------|---------------|
| B1                  | 0,000105  | 0,000105  | 0,021651 | 0,021651 | No                | No                 | White         |
| B2                  | 0,000141  | 0,000023  | 0,043301 | 0,007217 | No                | No                 | White         |
| E1                  | 0,000011  | 0,000011  | 0,015000 | 0,015000 | No                | No                 | White         |
| P1D10               | 0,004500  | 0,003000  | 0,086603 | 0,057735 | Yes               | No                 | Gray8Dark     |
| P1D20               | 0,004500  | 0,003000  | 0,086603 | 0,057735 | Yes               | No                 | Green         |
| P1D28               | 0,004500  | 0,003000  | 0,086603 | 0,057735 | Yes               | No                 | Red           |
| V1D10               | 0,009375  | 0,002813  | 0,144338 | 0,043301 | No                | Yes                | Green         |
| V1D20               | 0,009375  | 0,002813  | 0,144338 | 0,043301 | No                | Yes                | Red           |
| V1D28               | 0,009375  | 0,002813  | 0,144338 | 0,043301 | No                | Yes                | Yellow        |

Table: Frame Section Properties 01 - General, Part 4 of 6

| SectionName<br>Text | TotalWt<br>KN | TotalMass<br>KN-s2/m | FromFile<br>Yes/No | AMod<br>Unitless | A2Mod<br>Unitless | A3Mod<br>Unitless | JMod<br>Unitless |
|---------------------|---------------|----------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| B1                  | 2,153         | 0,22                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| B2                  | 1,175         | 0,12                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| E1                  | 15,905        | 1,62                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| P1D10               | 18,000        | 1,84                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| P1D20               | 18,000        | 1,84                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| P1D28               | 36,000        | 3,67                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| V1D10               | 45,000        | 4,59                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| V1D20               | 45,000        | 4,59                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |
| V1D28               | 45,000        | 4,59                 | No                 | 1,000000         | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         |

Table: Frame Section Properties 01 - General, Part 5 of 6

| SectionName<br>Text | I2Mod<br>Unitless | I3Mod<br>Unitless | MMod<br>Unitless | WMod<br>Unitless | GUID<br>Text |
|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|
| B1                  | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         | 1,000000         |              |
| B2                  | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         | 1,000000         |              |
| E1                  | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         | 1,000000         |              |
| P1D10               | 1,000000          | 1,000000          | 1,000000         | 1,000000         |              |

| SectionName | I2Mod    | I3Mod    | MMod     | WMod     | GUID |
|-------------|----------|----------|----------|----------|------|
| Text        | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Text |
| P1D20       | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |      |
| P1D28       | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |      |
| V1D10       | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |      |
| V1D20       | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |      |
| V1D28       | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |      |

Table: Frame Section Properties 01 - General, Part 6 of 6

| SectionName | Notes                    |
|-------------|--------------------------|
| Text        | Text                     |
| B1          | Added 23/5/2009 16:32:16 |
| B2          | Added 17/6/2009 15:45:37 |
| E1          | Added 21/5/2009 20:45:44 |
| P1D10       | Added 21/5/2009 20:51:45 |
| P1D20       | Added 21/5/2009 20:52:30 |
| P1D28       | Added 21/5/2009 20:53:07 |
| V1D10       | Added 21/5/2009 20:48:05 |
| V1D20       | Added 21/5/2009 20:49:50 |
| V1D28       | Added 21/5/2009 20:51:08 |

Table: Frame Section Properties 02 - Concrete Column, Part 1 of 2

| SectionName | RebarMatL | RebarMatC | ReinfConfig | LatReinf | Cover    | NumBars3Dir | NumBars2Dir | BarSizeL |
|-------------|-----------|-----------|-------------|----------|----------|-------------|-------------|----------|
| Text        | Text      | Text      | Text        | Text     | m        | Unitless    | Unitless    | Text     |
| P1D10       | CA50      | CA50      | Rectangular | Ties     | 0,030000 | 2           | 2           | #10      |
| P1D20       | CA50      | CA50      | Rectangular | Ties     | 0,030000 | 2           | 2           | #10      |
| P1D28       | CA50      | CA50      | Rectangular | Ties     | 0,030000 | 2           | 2           | #10      |

Table: Frame Section Properties 02 - Concrete Column, Part 2 of 2

| SectionName | BarSizeC | SpacingC | NumCBars2 | NumCBars3 | ReinfType |
|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Text        | Text     | m        | Unitless  | Unitless  | Text      |
| P1D10       | #5       | 0,150000 | 2         | 2         | Design    |
| P1D20       | #5       | 0,150000 | 2         | 2         | Design    |
| P1D28       | #5       | 0,150000 | 2         | 2         | Design    |

Table: Frame Section Properties 03 - Concrete Beam

| SectionName | RebarMatL | RebarMatC | TopCover | BotCover | TopLeftArea | TopRightArea | BotLeftArea | BotRightArea |
|-------------|-----------|-----------|----------|----------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| Text        | Text      | Text      | m        | m        | m2          | m2           | m2          | m2           |
| V1D10       | CA50      | CA50      | 0,040000 | 0,040000 | 0,000400    | 0,000400     | 0,000400    | 0,000400     |
| V1D20       | CA50      | CA50      | 0,040000 | 0,040000 | 0,000400    | 0,000400     | 0,000400    | 0,000400     |
| V1D28       | CA50      | CA50      | 0,040000 | 0,040000 | 0,000400    | 0,000400     | 0,000400    | 0,000400     |

Table: Function - Power Spectral Density - User

| Name    | Frequency  | Value    |
|---------|------------|----------|
| Text    | Cyc/sec    | Unitless |
| UNIFPSD | 0,0000E+00 | 1,000000 |
| UNIFPSD | 1,0000E+00 | 1,000000 |

**Table: Function - Response Spectrum - User**

| Name<br>Text | Period<br>Sec | Accel<br>Unitless | FuncDamp<br>Unitless |
|--------------|---------------|-------------------|----------------------|
| UNIFRS       | 0,000000      | 1,000000          | 0,050000             |
| UNIFRS       | 1,000000      | 1,000000          |                      |

**Table: Function - Steady State - User**

| Name<br>Text | Frequency<br>Cyc/sec | Value<br>Unitless |
|--------------|----------------------|-------------------|
| UNIFSS       | 0,0000E+00           | 1,000000          |
| UNIFSS       | 1,0000E+00           | 1,000000          |

**Table: Function - Time History - User**

| Name<br>Text | Time<br>Sec | Value<br>Unitless |
|--------------|-------------|-------------------|
| RAMPTH       | 0,0000      | 0,000000          |
| RAMPTH       | 1,0000      | 1,000000          |
| RAMPTH       | 4,0000      | 1,000000          |
| UNIFTH       | 0,0000      | 1,000000          |
| UNIFTH       | 1,0000      | 1,000000          |

**Table: Joint Restraint Assignments**

| Joint<br>Text | U1<br>Yes/No | U2<br>Yes/No | U3<br>Yes/No | R1<br>Yes/No | R2<br>Yes/No | R3<br>Yes/No |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 6             | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          |
| 7             | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          |
| 9             | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          |
| 15            | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          | Yes          |

**Table: Load Case Definitions**

| LoadCase<br>Text | DesignType<br>Text | SelfWtMult<br>Unitless | AutoLoad<br>Text | GUID<br>Text | Notes<br>Text |
|------------------|--------------------|------------------------|------------------|--------------|---------------|
| DEAD             | DEAD               | 1,000000               |                  |              |               |
| SC               | LIVE               | 0,000000               |                  |              |               |

**Table: Material Properties 01 - General, Part 1 of 2**

| Material<br>Text | Type<br>Text | SymType<br>Text | TempDepen<br>d<br>Yes/No | Color<br>Text | GUID<br>Text |
|------------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------|--------------|
| C25 10DIAS       | Concrete     | Isotropic       | No                       | Blue          |              |
| C25 20 DIAS      | Concrete     | Isotropic       | No                       | 16744576      |              |
| C25 28DIAS       | Concrete     | Isotropic       | No                       | Blue          |              |
| CA50             | Rebar        | Uniaxial        | No                       | Blue          |              |
| COMPENSA<br>DO   | Other        |                 | No                       | Blue          |              |
| MADEIRA          | Other        |                 | No                       | 16512         |              |
| SAE 1020         | Steel        | Isotropic       | No                       | Green         |              |



**Table: Material Properties 01 - General, Part 2 of 2**

| Material<br>Text | Notes<br>Text                         |
|------------------|---------------------------------------|
| C25 10DIAS       | C25 10D added 21/5/2009 19:35:49      |
| C25 20 DIAS      | added 21/5/2009 19:59:15              |
| C25 28DIAS       | added 21/5/2009 20:04:40              |
| CA50             | added 6/12/2009 16:58:01              |
| COMPENSA<br>DO   | compensado added 1/6/2009<br>20:34:31 |
| MADEIRA          | MADEIRA added 19/5/2009 20:43:05      |
| SAE 1020         | SAE 1020 added 18/5/2009 22:13:44     |

**Table: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties**

| Material<br>Text | UnitWeight<br>KN/m3 | UnitMass<br>KN-s2/m4 | E1<br>KN/m2 | G12<br>KN/m2 | U12<br>Unitless | A1<br>1/C  |
|------------------|---------------------|----------------------|-------------|--------------|-----------------|------------|
| C25 10DIAS       | 2,5000E+01          | 2,5493E+00           | 21879000,00 | 9116250,00   | 0,200000        | 1,0000E-05 |
| C25 20 DIAS      | 2,5000E+01          | 2,5493E+00           | 23261000,00 | 9692083,33   | 0,200000        | 1,0000E-05 |
| C25 28DIAS       | 2,5000E+01          | 2,5493E+00           | 23800000,00 | 9916666,67   | 0,200000        | 1,0000E-05 |
| CA50             | 7,8500E+01          | 8,0048E+00           | 210000000,0 |              |                 | 1,0000E-05 |
| COMPENSA<br>DO   | 5,8000E+00          | 5,9144E-01           | 7000000,00  | 2692307,69   | 0,300000        | 1,1700E-05 |
| MADEIRA          | 5,8000E+00          | 5,9144E-01           | 10000000,00 | 3846153,85   | 0,300000        | 1,6100E-07 |
| SAE 1020         | 7,6973E+01          | 7,8490E+00           | 210000000,0 | 80769230,77  | 0,300000        | 1,1700E-05 |

**Table: Material Properties 03a - Steel Data, Part 1 of 2**

| Material<br>Text | Fy<br>KN/m2 | Fu<br>KN/m2 | EffFy<br>KN/m2 | EffFu<br>KN/m2 | SSCurveOpt<br>Text | SSHysType<br>Text | SHard<br>Unitless | SMax<br>Unitless |
|------------------|-------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| SAE 1020         | 214000,00   | 455000,00   | 214000,00      | 455000,00      | Simple             | Kinematic         | 0,020000          | 0,140000         |

**Table: Material Properties 03a - Steel Data, Part 2 of 2**

| Material<br>Text | SRup<br>Unitless |
|------------------|------------------|
| SAE 1020         | 0,200000         |

**Table: Material Properties 03b - Concrete Data**

| Material<br>Text | Fc<br>KN/m2 | LtWtConc<br>Yes/No | SSCurveOpt<br>Text | SSHysType<br>Text | SFc<br>Unitless | SCap<br>Unitless | FAngle<br>Degrees | DAngle<br>Degrees |
|------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| C25 10DIAS       | 21127,00    | No                 | Simple             | Kinematic         | 0,002000        | 0,005000         | 0,000             | 0,000             |
| C25 20 DIAS      | 23881,00    | No                 | Simple             | Kinematic         | 0,002000        | 0,005000         | 0,000             | 0,000             |
| C25 28DIAS       | 25000,00    | No                 | Simple             | Kinematic         | 0,002000        | 0,005000         | 0,000             | 0,000             |

**Table: Material Properties 03e - Rebar Data, Part 1 of 2**

| Material<br>Text | Fy<br>KN/m2 | Fu<br>KN/m2 | EffFy<br>KN/m2 | EffFu<br>KN/m2 | SSCurveOpt<br>Text | SSHysType<br>Text | SHard<br>Unitless | SCap<br>Unitless |
|------------------|-------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| CA50             | 500000,00   | 550000,00   | 550000,00      | 605000,00      | Simple             | Kinematic         | 0,020000          | 0,120000         |

**Table: Material Properties 03e - Rebar Data, Part 2 of 2**

| Material<br>Text | UseCTDef<br>Yes/No |
|------------------|--------------------|
| CA50             | No                 |

**Table: Material Properties 03g - Other Data**

| Material<br>Text | SSHysType<br>Text | FAngle<br>Degrees | DAngle<br>Degrees |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| COMPENSA<br>DO   | Elastic           | 0,000             | 0,000             |
| MADEIRA          | Elastic           | 0,000             | 0,000             |

**Table: Material Properties 04 - User Stress-Strain Curves**

| Material<br>Text | Point<br>Text | Strain<br>Unitless | Stress<br>KN/m2 | PointID<br>Text |
|------------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| COMPENSA<br>DO   | 1             | -1,000000          | -1,00           |                 |
| COMPENSA<br>DO   | 2             | 0,000000           | 0,00            | A               |
| COMPENSA<br>DO   | 3             | 1,000000           | 1,00            |                 |
| MADEIRA          | 1             | -1,000000          | -1,00           |                 |
| MADEIRA          | 2             | 0,000000           | 0,00            | A               |
| MADEIRA          | 3             | 1,000000           | 1,00            |                 |

**Table: Rebar Sizes**

| RebarID<br>Text | Area<br>m2 | Diameter<br>m |
|-----------------|------------|---------------|
| #5              | 0,000020   | 0,005000      |
| #6.3            | 0,000031   | 0,006300      |
| #8              | 0,000050   | 0,008000      |
| #10             | 0,000079   | 0,010000      |
| #12.5           | 0,000125   | 0,012500      |
| #16             | 0,000200   | 0,016000      |

## **Anexo B: TABELAS DE SAÍDA DE DADOS**

---

A seguir são mostradas algumas tabelas do programa computacional utilizado, de forma a ilustrar sua saída de dados, neste caso, os dados de saída do modelo 6x6 metros, com 3 níveis de escoramento.

**Table: Base Reactions, Part 1 of 3**

| OutputCase<br>Text | CaseType<br>Text | GlobalFX<br>KN | GlobalFY<br>KN | GlobalFZ<br>KN | GlobalMX<br>KN-m | GlobalMY<br>KN-m | GlobalMZ<br>KN-m | GlobalX<br>m |
|--------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| COMB1              | Combination      | 1,155E-14      | -2,798E-14     | 661,991        | 1985,9729        | -1985,9729       | -1,421E-14       | 0,00000      |
| COMB2              | Combination      | 1,688E-14      | -3,997E-14     | 949,991        | 2849,9729        | -2849,9729       | -2,132E-14       | 0,00000      |

**Table: Base Reactions, Part 2 of 3**

| OutputCase<br>Text | GlobalY<br>m | GlobalZ<br>m | XCentroidF<br>X<br>m | YCentroidF<br>Y<br>m | ZCentroidF<br>Z<br>m | XCentroidF<br>Y<br>m | YCentroidF<br>Y<br>m | ZCentroidF<br>Y<br>m |
|--------------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| COMB1              | 0,00000      | 0,00000      | -5,792E+15           | 0,00000              | 0,00000              | 1,01587              | 1,705E+15            | 0,00000              |
| COMB2              | 0,00000      | 0,00000      | -1,246E+16           | 1,33333              | 0,00000              | 1,75661              | 3,825E+15            | 0,00000              |

**Table: Base Reactions, Part 3 of 3**

| OutputCase<br>Text | XCentroidF<br>Z<br>m | YCentroidF<br>Z<br>m | ZCentroidFZ<br>m |
|--------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| COMB1              | 3,00000              | 3,00000              | 0,00000          |
| COMB2              | 6,00000              | 6,00000              | 0,00000          |

**Table: Joint Displacements**

| Joint<br>Text | OutputCase<br>Text | CaseType<br>Text | U1<br>m    | U2<br>m   | U3<br>m   | R1<br>Radians | R2<br>Radians | R3<br>Radians |
|---------------|--------------------|------------------|------------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| 6             | COMB1              | Combination      | 0,000000   | 0,000000  | 0,000000  | 0,000000      | 0,000000      | 0,000000      |
| 6             | COMB2              | Combination      | 0,000000   | 0,000000  | 0,000000  | 0,000000      | 0,000000      | 0,000000      |
| 7             | COMB1              | Combination      | 0,000000   | 0,000000  | 0,000000  | 0,000000      | 0,000000      | 0,000000      |
| 7             | COMB2              | Combination      | 0,000000   | 0,000000  | 0,000000  | 0,000000      | 0,000000      | 0,000000      |
| 8             | COMB1              | Combination      | 4,803E-07  | 1,828E-07 | -0,000568 | -0,001155     | 0,000686      | 2,028E-07     |
| 8             | COMB2              | Combination      | 6,801E-07  | 2,639E-07 | -0,000818 | -0,001779     | 0,001056      | 2,857E-07     |
| 9             | COMB1              | Combination      | 0,000000   | 0,000000  | 0,000000  | 0,000000      | 0,000000      | 0,000000      |
| 9             | COMB2              | Combination      | 0,000000   | 0,000000  | 0,000000  | 0,000000      | 0,000000      | 0,000000      |
| 10            | COMB1              | Combination      | -4,803E-07 | 1,828E-07 | -0,000568 | -0,001155     | -0,000686     | -2,028E-07    |
| .             | .                  | .                | .          | .         | .         | .             | .             | .             |
| .             | .                  | .                | .          | .         | .         | .             | .             | .             |
| .             | .                  | .                | .          | .         | .         | .             | .             | .             |
| .             | .                  | .                | .          | .         | .         | .             | .             | .             |
| .             | .                  | .                | .          | .         | .         | .             | .             | .             |
| .             | .                  | .                | .          | .         | .         | .             | .             | .             |
| 983           | COMB1              | Combination      | 4,164E-07  | 3,699E-07 | -0,004015 | 0,001016      | -0,002355     | -2,263E-07    |
| 983           | COMB2              | Combination      | 6,410E-07  | 5,694E-07 | -0,006220 | 0,001586      | -0,003825     | -3,482E-07    |
| 984           | COMB1              | Combination      | 6,315E-07  | 5,766E-07 | -0,003404 | 0,001425      | -0,002129     | -2,234E-07    |
| 984           | COMB2              | Combination      | 9,720E-07  | 8,877E-07 | -0,005264 | 0,002227      | -0,003438     | -3,439E-07    |
| 985           | COMB1              | Combination      | 9,708E-07  | 8,140E-07 | -0,002617 | 0,001714      | -0,001818     | -5,697E-07    |
| 985           | COMB2              | Combination      | 1,494E-06  | 1,253E-06 | -0,004035 | 0,002680      | -0,002907     | -8,767E-07    |
| 986           | COMB1              | Combination      | 1,538E-06  | 1,085E-06 | -0,001725 | 0,001841      | -0,001462     | -3,588E-07    |
| 986           | COMB2              | Combination      | 2,368E-06  | 1,671E-06 | -0,002640 | 0,002880      | -0,002298     | -5,523E-07    |

**Table: Joint Reactions**

| Joint<br>Text | OutputCase<br>Text | CaseType<br>Text | F1<br>KN | F2<br>KN | F3<br>KN | M1<br>KN-m | M2<br>KN-m | M3<br>KN-m |
|---------------|--------------------|------------------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|
| 6             | COMB1              | Combination      | 5,573    | -3,975   | 165,498  | 3,9515     | 5,4996     | -0,0011    |
| 6             | COMB2              | Combination      | 8,533    | -6,093   | 237,498  | 6,0568     | 8,4205     | -0,0018    |
| 7             | COMB1              | Combination      | 5,573    | 3,975    | 165,498  | -3,9515    | 5,4996     | 0,0011     |
| 7             | COMB2              | Combination      | 8,533    | 6,093    | 237,498  | -6,0568    | 8,4205     | 0,0018     |
| 9             | COMB1              | Combination      | -5,573   | 3,975    | 165,498  | -3,9515    | -5,4996    | -0,0011    |
| 9             | COMB2              | Combination      | -8,533   | 6,093    | 237,498  | -6,0568    | -8,4205    | -0,0018    |
| 15            | COMB1              | Combination      | -5,573   | -3,975   | 165,498  | 3,9515     | -5,4996    | 0,0011     |
| 15            | COMB2              | Combination      | -8,533   | -6,093   | 237,498  | 6,0568     | -8,4205    | 0,0018     |

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)